

Proyecto Fin de Carrera



Universidad Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Mecánica

Desarrollo de una aplicación en interfaz gráfica de
MatLab para la determinación del comportamiento
dinámico de un vehículo automóvil

Autor: *Javier Buhigas Pérez*

Director: *Dr. Antonio Gauchía Babé*

Leganés, 30 de mayo de 2011

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Antonio Gauchía la oportunidad de realizar el Proyecto Fin de Carrera con él. El apoyo que me ha dado, desde el primer momento, ha sido enorme. Incluso al final, cuando apremiaba finalizar de forma inesperada el proyecto, no ha puesto ninguna pega y su apoyo ha sido total. El trato conmigo ha sido ejemplar y su confianza en mí casi ciega.

Quiero tener un gesto de agradecimiento también hacia todos los profesores que he tenido a lo largo de mi vida, desde la guardería hasta la universidad, que en conjunto han conseguido que hoy esté aquí.

A Marta García Cosío, por su comprensión y por haberme brindado una oportunidad laboral tan importante. Le agradezco haber apostado por mí y haberme apretado las tuercas para presentar con tanta premura.

Por supuesto, agradezco a mis amigos todo lo que me han dado, durante tantos años. Han sido una ayuda crucial y sé que seguirán siéndolo en el futuro.

Y, por encima de todos, quiero agradecer a toda mi familia, a mi hermano Iñigo, y en especial a mis padres, Juan y Macu, su inconmensurable cariño. No hay espacio para mostrar en palabras mi gratitud. Son los mejores padres que jamás pueda soñar y me lo muestran día tras día.

Gracias.

Índice

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN.....	12
1.1.	PRESENTACIÓN	12
1.2.	ESTADO DEL ARTE	14
1.3.	OBJETIVOS	16
1.4.	DESARROLLO Y FASES DEL PROYECTO	18
1.5.	ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	20
1.6.	ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	21
1.7.	SÍMBOLOS	22
1.8.	UNIDADES.....	26
CAPÍTULO 2	INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO EN MATLAB: GUIDE.....	30
2.1.	ACERCA DE MATLAB.....	30
2.2.	INTERFAZ DE MATLAB	31
2.3.	ACERCA DE GUIDE.....	34
2.4.	INTERFAZ DE GUIDE.....	34
2.5.	CONCEPTOS BÁSICOS PARA PROGRAMAR EN GUIDE.....	39
2.6.	FUNCIONES MÁS IMPORTANTES UTILIZADAS.....	46
CAPÍTULO 3	CONCEPTOS TEÓRICOS	50
3.1.	DINÁMICA LONGITUDINAL. TRACCIÓN	51
3.2.	DINÁMICA LONGITUDINAL. FRENADO.....	56
3.3.	DINÁMICA LATERAL.	61
CAPÍTULO 4	ANÁLISIS DINÁMICO DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL	68
4.1.	INTRODUCCIÓN	68
4.2.	ARQUITECTURA DE LA APLICACIÓN	70
4.3.	MENÚ DE AYUDA	74
4.4.	DESCRIPCIÓN DE CADA MÓDULO.....	76
CAPÍTULO 5	RESULTADOS.....	147
5.1.	DINÁMICA LONGITUDINAL. TRACCIÓN	151
5.2.	DINÁMICA LONGITUDINAL. FRENADO.....	157
5.3.	DINÁMICA LATERAL.	164
5.4.	RESUMEN DE RESULTADOS.	173
CAPÍTULO 6	CONCLUSIONES.....	174
CAPÍTULO 7	FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....	178

CAPÍTULO 8	BIBLIOGRAFÍA	182
CAPÍTULO 9	ANEXOS	185
9.1.	ANEXO 1. MANUAL DE USUARIO.....	185
9.2.	ANEXO 2. MANUAL DE REFERENCIA	242

Índice de tablas

Tabla 1. Ficha técnica del Renault Mégane 1.5 dCi eco2 E5 90CV Style 5P.....	148
Tabla 2. Resumen de resultados.....	173
Tabla 3. Versiones de MatLab compatibles con la aplicación desarrollada.	175

Índice de ilustraciones

Ilustración 2-1. Interfaz de MatLab.....	32
Ilustración 2-2. Interfaz del Editor/Debugger de MatLab. Edición del código de Potencia_disipada_en_el_frenado	33
Ilustración 2-3. Captura de pantalla de la interfaz de GUIDE	35
Ilustración 2-4. Barra de herramientas en el editor de figuras de GUIDE.....	38
Ilustración 2-5. Captura de pantalla. Acceso al callback de un objeto.....	41
Ilustración 2-6. Código inicial creado en el m-file de una GUI titulada “untitled1”	42
Ilustración 2-7. Menú Property Inspector de un objeto con tag “peso”	44
Ilustración 3-1. Distancias implicadas en el cálculo de la transferencia de carga lateral .	66
Ilustración 3-2. Cotas implicadas en el cálculo de r_1	67
Ilustración 4-1. Esquema de los cálculos que permite realizar el programa.....	70
Ilustración 4-2. Relación entre GUIs. Menús e Inicio.	71
Ilustración 4-3. Relación entre GUIs correspondientes al análisis de tracción	72
Ilustración 4-4. Relación entre GUIs correspondientes al análisis de frenado	73
Ilustración 4-5. Relación entre GUIs correspondientes al análisis lateral	74
Ilustración 4-6. Detalle del menú de ayuda en la GUI <i>Acuaplaneo</i>	74
Ilustración 4-7. Captura de pantalla del Menu Editor	75
Ilustración 4-8. Captura de pantalla de la GUI <i>Inicio</i>	77
Ilustración 4-9. Captura de pantalla de la GUI <i>Menu_principal</i>	78
Ilustración 4-10. Captura de pantalla de la GUI <i>Menu_traccion</i>	79
Ilustración 4-11. Captura de pantalla de la GUI <i>Menu_frenado</i>	81
Ilustración 4-12. Captura de pantalla de la GUI <i>Menu_lateral</i>	83

Ilustración 4-13. Captura de pantalla de la GUI <i>Reparto_de_cargas_estaticas</i>	84
Ilustración 4-14. Captura de pantalla de la GUI <i>Reparto_de_cargas_estaticas_resultados</i>	86
Ilustración 4-15. Captura de pantalla de la GUI <i>Esfuerzo_tractor_maximo</i>	87
Ilustración 4-16. Captura de pantalla de la GUI <i>Esfuerzo_tractor_maximo_resultados</i> ...	89
Ilustración 4-17. Captura de pantalla de la GUI <i>Rampa_maxima</i>	90
Ilustración 4-18. Captura de pantalla de la GUI <i>Rampa_maxima_resultados</i>	91
Ilustración 4-19. Captura de pantalla de la GUI <i>Velocidad_maxima_y_resistencias_al_avance</i>	93
Ilustración 4-20. . Captura de pantalla de la GUI <i>Velocidad_maxima_y_resistencias_al_avance_resultados</i>	95
Ilustración 4-21. Captura de pantalla de la GUI <i>Aceleracion</i>	97
Ilustración 4-22. Captura de pantalla de la GUI <i>Aceleracion_resultados</i>	99
Ilustración 4-23. Captura de pantalla de la GUI <i>Acuaplaneo</i>	100
Ilustración 4-24. Captura de pantalla de la GUI <i>Acuaplaneo_resultados</i>	101
Ilustración 4-25. Captura de pantalla de la GUI <i>Par_resistente_del_motor</i>	102
Ilustración 4-26. Captura de pantalla de la GUI <i>Par_resistente_del_motor_resultados</i> .	104
Ilustración 4-27. Captura de pantalla de la GUI <i>Reparto_de_cargas_en_la_frenada</i>	105
Ilustración 4-28. Captura de pantalla de la GUI <i>Reparto_de_cargas_en_la_frenada_resultados</i>	107
Ilustración 4-29. Captura de pantalla de la GUI <i>Reparto_optimo_de_la_frenada</i>	109
Ilustración 4-30. Captura de pantalla de la GUI <i>Reparto_optimo_de_la_frenada_resultados</i>	110
Ilustración 4-31. Captura de pantalla de la GUI <i>Bloqueo</i>	112
Ilustración 4-32. Captura de pantalla de la GUI <i>Bloqueo_resultados</i>	114
Ilustración 4-33. Captura de pantalla de la GUI <i>Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo</i>	116
Ilustración 4-34. Captura de pantalla de la GUI <i>Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo_resultados</i>	118
Ilustración 4-35. Captura de pantalla de la GUI <i>Rendimiento_del_frenado</i>	119

Ilustración 4-36. Mensaje de error al introducir un valor de aceleración mayor que 0.3 g's en la GUI <i>Rendimiento_del_frenado</i>	120
Ilustración 4-37. Captura de pantalla de la GUI <i>Rendimiento_del_frenado_resultados</i>	121
Ilustración 4-38. Captura de pantalla de la GUI <i>Distancia_y_tiempo</i>	123
Ilustración 4-39. Captura de pantalla de la GUI <i>Distancia_y_tiempo_resultados</i>	125
Ilustración 4-40. Captura de pantalla de la GUI <i>Potencia_disipada_en_el_frenado</i>	126
Ilustración 4-41. Captura de pantalla de la GUI <i>Potencia_disipada_en_el_frenado_resultados</i>	128
Ilustración 4-42. Captura de pantalla de la GUI <i>Suspension_rigida</i>	129
Ilustración 4-43. Captura de pantalla de la GUI <i>Suspension_rigida_resultados</i>	131
Ilustración 4-44. Captura de pantalla de la GUI <i>Suspension_elastica</i>	132
Ilustración 4-45. Captura de pantalla de la GUI <i>Suspension_elastica_resultados</i>	134
Ilustración 4-46. Captura de pantalla de la GUI <i>Suspension_ballestas</i>	135
Ilustración 4-47. Captura de pantalla de la GUI <i>Suspension_ballestas_resultados</i>	137
Ilustración 4-48. Captura de pantalla de la GUI <i>Centros_balanceo</i>	138
Ilustración 4-49. Captura de pantalla de la GUI <i>Centros_balanceo_resultados</i>	140
Ilustración 4-50. Captura de pantalla de la GUI <i>Transferencia_de_carga_lateral</i>	142
Ilustración 4-51. Captura de pantalla de la GUI <i>Transferencia_de_carga_lateral_resultados</i>	144
Ilustración 5-1. Renault Mégane 1.5 dCi eco2 E5 90CV Style 5P.	147
Ilustración 5-2. Gráfico de resultados para el modelo de suspensión rígida	164
Ilustración 5-3. Gráfico de resultados para el modelo de suspensión rígida	166
Ilustración 5-4. Gráfico de resultados para el modelo de suspensión de ballesta	167
Ilustración 5-5. Gráfico de resultados para el modelo de suspensión indicando centros de balanceo	169
Ilustración 6-1. Captura de pantalla de un estado primario de la creación del Power Point inicial que sirvió de modelo	175
Ilustración 9-1. Captura de pantalla. Detalle del botón <i>Browse for folder</i>	185
Ilustración 9-2. Ruta ejemplo de la aplicación	186
Ilustración 9-3. Captura de pantalla del <i>Current Directory</i>	187

Ilustración 9-4. Captura de pantalla de los cuatro archivos relacionados con el cálculo de la máxima deceleración antes de bloqueo.	188
Ilustración 9-5. Captura de pantalla de la GUI <i>Inicio</i> , indicándose los botones accionables de la misma	189
Ilustración 9-6. Captura de pantalla de la GUI <i>Menu_principal</i> , indicándose los botones accionables de la misma	190
Ilustración 9-7. Captura de pantalla de la GUI <i>Menu_traccion</i> , indicándose los botones accionables de la misma	191
Ilustración 9-8. Captura de pantalla de la GUI <i>Menu_frenado</i> , indicándose los botones accionables de la misma	192
Ilustración 9-9. Captura de pantalla de la GUI <i>Menu_lateral</i> , indicándose los botones accionables de la misma	194
Ilustración 9-10. Captura de pantalla de la GUI <i>Reparto_de_cargas_estaticas</i> , indicándose los botones accionables de la misma	195
Ilustración 9-11. Captura de pantalla de la GUI <i>Reparto_de_cargas_estaticas_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	196
Ilustración 9-12. Captura de pantalla de la GUI <i>Esfuerzo_tractor_maximo</i> , indicándose los botones accionables de la misma	197
Ilustración 9-13. Captura de pantalla de la GUI <i>Esfuerzo_tractor_maximo_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	199
Ilustración 9-14. Captura de pantalla de la GUI <i>Rampa_maxima</i> , indicándose los botones accionables de la misma	200
Ilustración 9-15. Captura de pantalla de la GUI <i>Rampa_maxima_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma.....	201
Ilustración 9-16. Captura de pantalla de la GUI <i>Velocidad_maxima_y_resistencias_al_avance</i> , indicándose los botones accionables de la misma	202
Ilustración 9-17. Captura de pantalla de la GUI <i>Velocidad_maxima_y_resistencias_al_avance_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	204
Ilustración 9-18. Captura de pantalla de la GUI <i>Aceleracion</i> , indicándose los botones accionables de la misma	205
Ilustración 9-19. Captura de pantalla de la GUI <i>Aceleracion_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	206

Ilustración 9-20. Captura de pantalla de la GUI <i>Acuaplaneo</i> , indicándose los botones accionables de la misma	207
Ilustración 9-21. Captura de pantalla de la GUI <i>Acuaplaneo_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	208
Ilustración 9-22. Captura de pantalla de la GUI <i>Par_resistente_del_motor</i> , indicándose los botones accionables de la misma	209
Ilustración 9-23. Captura de pantalla de la GUI <i>Par_resistente_del_motor_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	210
Ilustración 9-24. Captura de pantalla de la GUI <i>Reparto_de_cargas_en_la_frenada</i> , indicándose los botones accionables de la misma	211
Ilustración 9-25. Captura de pantalla de la GUI <i>Reparto_de_cargas_en_la_frenada_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	213
Ilustración 9-26. Captura de pantalla de la GUI <i>Reparto_optimo_de_la_frenada</i> , indicándose los botones accionables de la misma	214
Ilustración 9-27. Captura de pantalla de la GUI <i>Reparto_optimo_de_la_frenada</i> , indicándose los botones accionables de la misma	215
Ilustración 9-28. Captura de pantalla de la GUI <i>Bloqueo</i> , indicándose los botones accionables de la misma	216
Ilustración 9-29. Captura de pantalla de la GUI <i>Bloqueo_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	218
Ilustración 9-30. Captura de pantalla de la GUI <i>Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo</i> , indicándose los botones accionables de la misma	219
Ilustración 9-31. Captura de pantalla de la GUI <i>Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	220
Ilustración 9-32. Captura de pantalla de la GUI <i>Rendimiento_del_frenado</i> , indicándose los botones accionables de la misma	221
Ilustración 9-33. Captura de pantalla de la GUI <i>Rendimiento_del_frenado_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	222
Ilustración 9-34. Captura de pantalla de la GUI <i>Distancia_y_tiempo</i> , indicándose los botones accionables de la misma	223
Ilustración 9-35. Captura de pantalla de la GUI <i>Distancia_y_tiempo_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	225

Ilustración 9-36. Captura de pantalla de la GUI <i>Potencia_disipada_en_el_frenado</i> , indicándose los botones accionables de la misma	226
Ilustración 9-37. Captura de pantalla de la GUI <i>Potencia_disipada_en_el_frenado_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	227
Ilustración 9-38. Captura de pantalla de la GUI <i>Suspension_rigida</i> , indicándose los botones accionables de la misma	228
Ilustración 9-39. Captura de pantalla de la GUI <i>Suspension_rigida_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	230
Ilustración 9-40. Captura de pantalla de la GUI <i>Suspension_elastica</i> , indicándose los botones accionables de la misma	231
Ilustración 9-41. Captura de pantalla de la GUI <i>Suspension_elastica_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	232
Ilustración 9-42. Captura de pantalla de la GUI <i>Suspension_ballestas</i> , indicándose los botones accionables de la misma	233
Ilustración 9-43. Captura de pantalla de la GUI <i>Suspension_ballestas_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	235
Ilustración 9-44. Captura de pantalla de la GUI <i>Centros_balanceo</i> , indicándose los botones accionables de la misma	236
Ilustración 9-45. Captura de pantalla de la GUI <i>Centros_balanceo_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	237
Ilustración 9-46. Captura de pantalla de la GUI <i>Transferencia_de_carga_lateral</i> , indicándose los botones accionables de la misma	238
Ilustración 9-47. Captura de pantalla de la GUI <i>Transferencia_de_carga_lateral_resultados</i> , indicándose los botones accionables de la misma	240
Ilustración 9-48. Captura de pantalla del menú de preferencias de GUIDE. Detalle de las preferencias del formato de los archivos.....	242

Capítulo 1

Introducción

1.1. PRESENTACIÓN

En ingeniería, todo lo relacionado con el vehículo automóvil ha alcanzado un estatus privilegiado, ya que su desarrollo y evolución de más de un siglo siempre ha estado en la vanguardia de la tecnología. El concepto de automóvil, pese a los evidentes cambios, es fundamentalmente el mismo que el que se concibió en sus inicios, de modo que la técnica que lo engloba, principalmente, se ha perfeccionado a partir de unos principios mecánicos básicos. Además, debido a la complejidad del automóvil como máquina, en su estudio caben un gran número de ciencias, que deben aplicarse en sintonía y que se nutren unas de otras. Todo ello convierte al vehículo automóvil en un dispositivo cuyo valor didáctico es muy importante.

En vista de lo anterior, es común que en las universidades técnicas, como en la Universidad Carlos III de Madrid, se impartan asignaturas que traten específicamente sobre los automóviles, tanto por la atracción que suscita

entre los estudiantes, como por la importancia formativa que posee. La mayoría de estas asignaturas no pueden enseñar con profundidad el extensísimo conocimiento que existe acerca del tema, y bien deben centrarse en un campo de estudio concreto, o bien optan por mostrar una visión global más amplia. Es fácil, en cualquier caso, rodear al alumno de demasiadas fórmulas, y ver de este modo cómo el objetivo de la enseñanza se trunca.

Sin embargo, la complejidad y el largo desarrollo del automóvil tienen sus beneficios desde un punto de vista didáctico. El hecho de que su estudio esté tan extendido y de que los principios básicos, en cuanto al funcionamiento como máquina, apenas hayan variado, hacen que la ciencia del automóvil, aunque terriblemente amplia, esté muy definida, disponible para cualquier interesado y generalmente bien explicada y documentada.

Por todo lo anterior, a la hora de enseñar, parece que el problema radica en establecer un buen plan docente y en ayudarse de herramientas que ayuden a desarrollarlo. Acerca de la segunda cuestión, es necesario tener en cuenta los medios y capacidades que dispongan el centro y el alumnado. En la Universidad Carlos III de Madrid, se imparte la asignatura “Teoría de Vehículos” en el tercer curso de Grado en Ingeniería Mecánica. Anteriormente era una asignatura de la especialidad de Máquinas y estructuras de Ingeniería Industrial, también en el tercer curso. La carga teórica de esta asignatura es intensa debido a las razones antes mencionadas y, aún así, los responsables de la misma siempre han intentado enfocar el aprendizaje de la forma más práctica e interesante posible. La búsqueda de herramientas informáticas para este fin se demuestra en, por ejemplo, el uso de SIMULINK en las prácticas de la asignatura durante muchos años.

Además de SIMULINK, MatLab dispone de una herramienta capaz de desarrollar una interfaz gráfica (GUIDE), que permite crear un entorno programado con el que el usuario puede interactuar. Ya que SIMULINK es ya



una herramienta bien implementada en dicha asignatura, GUIDE podría ser otra ayuda más, de fácil acceso y con importantes perspectivas didácticas.

A raíz de todo lo anterior, surge la concepción de este PFC entre el autor y el director del mismo, para poder desarrollar una nueva herramienta didáctica con uso real, que permita además al autor aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera.

1.2. ESTADO DEL ARTE

La idea inicial al concebir este PFC era aplicar los conocimientos existentes sobre la dinámica de un vehículo automóvil a una interfaz gráfica programada en GUIDE. Es decir, desarrollar una aplicación en entorno gráfico que permita realizar un análisis del comportamiento dinámico de un vehículo automóvil.

Como ya se ha explicado, el conocimiento sobre el funcionamiento del vehículo automóvil, al menos a nivel didáctico, está plenamente desarrollado. En la bibliografía de este documento se incluyen varias referencias¹ donde se muestran fórmulas prácticamente idénticas para el cálculo de cada prestación o parámetro del vehículo automóvil. No es motivo de este Proyecto Fin de Carrera analizar o comprobar la literatura usada, pues se entiende que está bien fundamentada.

Por otro lado, cabe analizar la capacidad y el uso que se ha dado a la interfaz de MatLab GUIDE antes mencionada. En este sentido, existen innumerables aplicaciones realizadas con dicha interfaz, con carácter profesional, docente o particular. La programación en GUIDE es relativamente

¹ Ver [1] y [2] de la Bibliografía.

sencilla y especialmente indicada para personas con poca experiencia en programación en MatLab, pese a que la necesidad de diseñar un entorno gráfico imponga un esfuerzo y un tiempo mucho mayores a la hora de programar. Además, la posibilidad de realizar un entorno de usuario intuitivo, permite asimismo que sea utilizado por usuarios sin conocimientos en MatLab o, en general, en programación. En Internet existen foros donde programadores intercambian códigos de GUIDE, se ayudan entre ellos e incluso programan en comunión. Resulta muy interesante acceder a estos portales para conocer más sobre esta herramienta o para consultar dudas (ver [14] de la Bibliografía).

Sin embargo, aún con todo lo anterior, no se ha podido encontrar ninguna aplicación en GUIDE que estudie el análisis dinámico de un vehículo automóvil. Siguiendo esta línea, sí que existen aplicaciones relacionadas en SIMULINK con características similares. Por ejemplo en [9] de la Bibliografía, se realiza una aplicación con cierta similitud, en cuanto a objetivos, con la desarrollada en este PFC. Pero no era intención adaptar ninguna de ellas a GUIDE, sino crear una aplicación desde cero partiendo de las premisas establecidas (ver apartado 1.3).

Aunque no se encontrase una aplicación con las características definidas anteriormente, sí que existe, en cambio, un trabajo dirigido realizado en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la UC3M, en el que se presenta una aplicación en GUIDE llamada AECVE, que calcula el límite de vuelco de ciertos vehículos con diferentes características de suspensión y centros de balanceos (ver [4] y [12] de la Bibliografía). Además, esta aplicación proporciona un gráfico con las ecuaciones empleadas en el cálculo del límite de vuelco y, lo que es más importante, el programa está desarrollado en GUIDE.

Por último, de forma muy genérica, se puede dividir el análisis dinámico de un automóvil en cuatro categorías:

- Dinámica longitudinal: tracción.
- Dinámica longitudinal: frenado.

- Dinámica vertical.
- Dinámica lateral.²

Por tanto, teniendo en cuenta que las fórmulas necesarias para programar el cálculo de las prestaciones son fiables y accesibles, que los manuales disponibles sobre GUIDE son numerosos y que el campus de Leganés de la UC3M cuenta con MatLab instalado en la mayoría de los ordenadores, se decidió realizar un software en GUIDE que permita realizar un análisis dinámico de un vehículo automóvil intuitivo y sencillo en el uso.

1.3. OBJETIVOS

En el presente proyecto fin de carrera se ha desarrollado un programa en entorno gráfico de MatLab que permite realizar un análisis dinámico de un vehículo automóvil a partir de la introducción de datos de entrada por parte del usuario. Asimismo, se pretende programar la aplicación de tal modo que sea apta para ser estudiada y modificada en un futuro. El programa se ha concebido con las siguientes premisas:

1. La interfaz debe ser intuitiva y sencilla en el uso, de modo que cualquier estudiante de ciencias sea capaz de usar el programa sin dificultad alguna. Igualmente, conviene que tenga un aspecto agradable y lo más limpio posible.
2. El código del programa debe ser claro para que se pueda modificar por otra persona. La intención es que el programa deje la puerta abierta a futuras ampliaciones del mismo por parte de otros alumnos. Así, se dejarán, intencionadamente, campos sin cubrir. De este

² Categoría que quedaría parcialmente cubierta con la aplicación AECVE.

modo, la aplicación no sólo serviría como una herramienta de cálculo de prestaciones, sino que podría usarse para aprender a programar en GUIDE. Para ello, se confecciona un manual de referencia (ver apartado 9.2) que ayude en esta tarea.

3. Los cálculos que el programa realice deben estar en consonancia con la materia que la asignatura Teoría de Vehículos imparte en la Universidad Carlos III de Madrid, de modo que se convierta en una herramienta que el profesorado pueda utilizar sin enseñar conocimientos fuera del temario.
4. Los cálculos deben ser precisos, claros y sin posibilidad de confundir al usuario. Para asegurar este objetivo, se confecciona un manual que el usuario pueda consultar en todo momento (ver apartado 9.1).
5. Se debe poder usar el programa en el mayor número posible de versiones de MatLab.
6. Se pretende adaptar la aplicación “AECVE” a la realizada en este PFC, para cubrir la dinámica lateral. Esta adaptación permite ser un ejemplo de lo expuesto en el punto 2 para cualquier persona que desee mejorar el programa desarrollado en este PFC.

Resaltar, por último, lo comentado en el punto 2 anterior, pues se considera pilar fundamental de este PFC. La aplicación desarrollada debe poderse modificar y ampliar por otras personas. Así, debe diseñarse de tal forma que sea lo más fácilmente editable posible. Siguiendo esta línea, y teniendo en cuenta lo extenso que es el temario, se programarán las siguientes categorías:

- Dinámica longitudinal: tracción.
- Dinámica longitudinal: frenado.

- Dinámica lateral.

Dejándose la dinámica vertical para futuras ampliaciones, siguiendo el ejemplo mostrado en este documento con la dinámica vertical y apoyándose en el manual de referencia (ver apartado 9.2).

1.4. DESARROLLO Y FASES DEL PROYECTO

Para realizar el presente PFC se siguieron los siguientes pasos.

1. Estudio de la materia.

Primero, se estudia la materia que se imparte en la UC3M acerca de todo lo relacionado con el vehículo automóvil, centrándose en la materia docente de la asignatura Teoría de Vehículos. Además, se estudia bibliografía recomendada.

2. Definición de las prestaciones a calcular por el programa.

De todo el temario disponible, se hace una selección de las prestaciones o parámetros a calcular por la aplicación y por ende a programar. Debido al extenso abanico, se analizan cuáles son más fundamentales, agrupándolas en tres análisis distintos: tracción, frenado y dinámica lateral.

3. Análisis de la interfaz a realizar.

Se estudia cómo programar el entorno gráfico en MatLab. De todas las posibilidades que ofrece, es necesario cumplir los objetivos previamente establecidos. De este modo, se decide programar la aplicación por medio de ventanas, de la forma más segmentada posible, de modo que futuras modificaciones sean lo más sencillas y rápidas posibles. Para cumplir con los objetivos, se evita la introducción de cualquier control ActiveX, sólo disponible a partir de MatLab R7.

4. Modelo preliminar de la interfaz de la aplicación.

Una vez se decidió el formato, se opta por realizar un modelo básico preliminar en el programa Microsoft Power Point, ya que el formato elegido se adapta muy bien al de una presentación con hipervínculos. Gracias a este modelo, muy rápido de crear, se pueden visualizar las relaciones entre ventanas y objetos que se desean programar posteriormente en GUIDE.³

5. Definición de las fórmulas necesarias en cada cálculo, así como de las variables que intervienen en el mismo.

Este paso determina los datos que el usuario debe introducir en cada caso, las variables que deben establecerse e intercambiarse entre GUIs y las operaciones a introducir en el código del programa. Así, no sólo es necesario definir y comprender las fórmulas necesarias para el cálculo de cada prestación, sino transformar las mismas al código de programación.

6. Programación de la aplicación.

Partiendo del modelo previo, se implementa el grafismo en GUIDE. La programación fundamental de cada figura se describe en el apartado 4.4. Simultáneamente, se lleva un control por escrito de cada figura, estableciendo las *callbacks* y *tags* de cada objeto.

7. Chequeo y corrección del código.

Aunque la depuración de errores se hizo de forma continuada, así como la comprobación de cada cálculo, una vez completado el programa, se llevó a cabo una revisión exhaustiva. Además, se comparte el programa con varias personas que lo experimentaran

³ La realización de este modelo resultó en un ahorro de tiempo, esfuerzo y errores considerables (ver Capítulo 6).



libremente, reportando errores o recomendaciones. Se modifica lo oportuno y se finaliza la programación y diseño de la aplicación.

8. Documentación.

Se redacta el presente documento.

9. Defensa del PFC ante un tribunal.

1.5. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

En el capítulo 1 se introduce al lector en el documento y en la comprensión del Proyecto Fin de Carrera en cuestión.

En el capítulo 2 se explica en líneas generales la herramienta GUIDE de MatLab, utilizada para programar la aplicación “Análisis dinámico de un vehículo automóvil”.

En el capítulo 3 se expone y explica de forma concisa la teoría aplicada en el programa antes citado. Cada prestación es estudiada de forma independiente correspondiendo con el formato de la aplicación. Así, este capítulo está dividido en tres secciones, según tracción, frenado y dinámica lateral.

En el capítulo 4 se presenta y explica el programa desarrollado, objeto fundamental de este PFC.

En el capítulo 5 se presentan unos resultados aportados por el programa, a partir de unos datos de entrada concretos, para mostrar su funcionamiento.

En el capítulo 6 se muestran las conclusiones del proyecto.

En el capítulo 7 se incluyen algunas de las futuras líneas de trabajo que se han estimado podrían seguirse.

En el capítulo 8, se incluye la bibliografía del documento.

Por último, en el capítulo 9, se incluyen unos anexos: un manual de usuario y un manual de referencia, que facilitan el uso de la aplicación y su posible modificación.

1.6. ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ABS	Antilock Brake System. (Sistema de frenos antibloqueo).
CDG	Centro De Gravedad.
CFD	Computacional Fluid Dynamics (Referido a CFD software).
GUI	Graphics User Interface (Interfaz gráfica de usuario).
GUIs	Graphics User Interfaces (Interfaces gráficas de usuario).
GUIDE	Graphics User Interface. Design Enviroment (Interfaz gráfica de usuario. Entorno de diseño).
MatLab	Matrix Laboratory.
N/a	Not Aplicable (No es aplicable o No existe).
NAN	Not A Number (No es un número).
PFC	Proyecto Fin de Carrera.
SIMULINK	Simulation and Model-Based Design of Dynamic Systems Platform (Plataforma de simulación y de diseño basado en modelos de sistemas dinámicos).
UC3M	Universidad Carlos III de Madrid.

1.7. SÍMBOLOS

γ_m	Factor de masa equivalente de masas rotativas.
ξ_j	Relación global de la transmisión para el escalonamiento j .
η_f	Rendimiento del frenado.
η_{motor}	Rendimiento del motor.
$\eta_{transmisión}$	Rendimiento de la transmisión.
μ	Adherencia neumático-calzada.
μ_{max}	Valor máximo de μ .
ρ	Densidad del aire.
φ	Ángulo formado por la superficie de rodadura y la horizontal.
ϕ_L	Ángulo de balanceo correspondiente al umbral de vuelco.
A_f	Área frontal del vehículo.
a	Aceleración.
a_y	Aceleración lateral.
$a_{ymáx}$	Aceleración lateral máxima.
B	Vía del vehículo.
B_d	Vía del vehículo en el eje delantero.
B_t	Vía del vehículo en el eje trasero.
C	Distancia entre el apoyo de las ballestas de un mismo eje.

C_x	Coeficiente aerodinámico de resistencia al avance.
F_{adh}	Fuerza adherente.
F_f	Fuerza de frenado
F_{motriz}	Fuerza motriz.
F_t	Esfuerzo tractor máximo.
$\Delta F_{z\phi}$	Transferencia de carga debida al balanceo.
ΔF_{zms}	Transferencia de carga delantera debida a la masa suspendida de cada eje.
ΔF_{zmns}	Transferencia de carga delantera debida a la masa no suspendida de cada eje.
F_{zd}	Reacción normal a la superficie de rodadura en el eje delantero.
$F_{zd}(\%)$	Porcentaje de carga estática en el eje delantero.
F_{zt}	Reacción normal a la superficie de rodadura en el eje trasero.
$F_{zt}(\%)$	Porcentaje de carga estática en el eje trasero.
f_0	Valor del coeficiente de resistencia a la rodadura a velocidad próxima a cero.
f_r	Coeficiente de resistencia a la rodadura.
f_v	Factor de variación de f_r con la velocidad.
g	Aceleración de la gravedad.
H_m	Potencia disipada.

H_{\max}	Potencia máxima.
h	Altura del CDG.
h_1	Altura del centro de balanceo de la suspensión.
h_2	Diferencia de alturas entre el centro de balanceo de la suspensión y el CDG.
h_d	Altura del centro de balanceo delantero.
h_t	Altura del centro de balanceo trasero.
h_{tot}	Altura total del vehículo.
i	Deslizamiento longitudinal del neumático.
J	Juego libre en el apoyo de la ballesta.
j	Pendiente. Expresada en tanto por uno.
$K_{\phi d}$	Rigidez al balanceo en el eje delantero.
$K_{\phi t}$	Rigidez al balanceo en el eje trasero.
K_{fd}	Proporción de esfuerzo de frenado en el eje delantero.
K_{ft}	Proporción de esfuerzo de frenado en el eje trasero.
L	Distancia entre ejes del vehículo o batalla.
l_1	Distancia entre el CDG y el eje delantero, en el sentido longitudinal del vehículo.
l_2	Distancia entre el CDG y el eje trasero, en el sentido longitudinal del vehículo.
M_C	Par a la salida del motor.
M_{fm}	Par de frenado del motor.



M_m^{\max}	Par máximo a la salida del motor.
m_{nsd}	Masa no suspendida delantera.
m_{nst}	Masa no suspendida trasera.
m_s	Masa suspendida.
m_{sd}	Masa suspendida delantera.
m_{st}	Masa suspendida trasera.
n_{\max}	Revoluciones del motor a la potencia máxima.
P	Peso total del vehículo.
p_i	Presión de inflado.
R_a	Resistencia aerodinámica.
R_g	Resistencia gravitatoria.
R_r	Resistencia a la rodadura.
R_T	Resistencia total al avance.
r_1	Distancia entre el eje de balanceo y el CDG.
r_c	Radio bajo carga.
V	Velocidad del vehículo.
V_{A1}	Velocidad de transición del acuaplaneo.
V_{A2}	Velocidad de acuaplaneo.

1.8. UNIDADES

γ_m	N/a
ξ_j	N/a
η_f	N/a
η_{motor}	N/a
$\eta_{transmisión}$	N/a
μ	N/a
μ_{max}	N/a
ρ	$\left[\frac{kg}{m^3} \right]$
φ	$[rad]$
ϕ_L	$[rad]$
A_f	$[m^2]$
a	$\left[\frac{m}{s^2} \right]$
a_y	$\left[\frac{m}{s^2} \right]$
$a_{ymáx}$	$\left[\frac{m}{s^2} \right]$
B	$[m]$
B_d	$[m]$
B_t	$[m]$
C	$[m]$



C_x	N/a	
F_{adh}	$[N]$	
F_f	$[N]$	
F_{motriz}	$[N]$	
F_t	$[N]$	
$\Delta F_{z\phi}$	$[N]$	
ΔF_{zms}	$[N]$	
ΔF_{zms}	$[N]$	
F_{zd}	$[N]$	
$F_{zd}(\%)$	N/a	
F_{zt}	$[N]$	
$F_{zt}(\%)$	N/a	
f_0	N/a	
f_r	N/a	
f_v	N/a	
g	$\left[\frac{m}{s^2} \right]$	$g = 9.81$
H_m	$[w]$	
H_{max}	$[w]$	
h	$[m]$	
h_1	$[m]$	

h_2	$[m]$	
h_d	$[m]$	
h_t	$[m]$	
h_{tot}	$[m]$	
i	N/a	
J	$[mm]$	$1mm = 0.001m$
j	N/a	
$K_{\phi d}$	$[N \cdot m / rad]$	
$K_{\phi t}$	$[N \cdot m / rad]$	
K_{fd}	N/a	
K_{ft}	N/a	
L	$[m]$	
l_1	$[m]$	
l_2	$[m]$	
M_C	$[N \cdot m]$	
M_{fm}	$[N \cdot m]$	
M_m^{\max}	$[N \cdot m]$	
m_{nsd}	$[kg]$	
m_{nst}	$[kg]$	
m_s	$[kg]$	



m_{sd}	$[kg]$	
m_{st}	$[kg]$	
n_{\max}	$[rpm]$	$1rpm = \frac{\pi}{30} \frac{rad}{s}$
P	$[N]$	
p_i	$[kPa]$	$1kPa = 1000Pa$
R_a	$[N]$	
R_g	$[N]$	
R_r	$[N]$	
R_T	$[N]$	
r_1	$[m]$	
r_c	$[m]$	
V	$\left[\frac{m}{s}\right]$	
V_{A1}	$\left[\frac{m}{s}\right]$	
V_{A2}	$\left[\frac{m}{s}\right]$	



Capítulo 2

Interfaz gráfica de usuario en MatLab: GUIDE

2.1. ACERCA DE MATLAB

MatLab, abreviatura de *Matrix Laboratory*, es un software informático ampliamente utilizado en ingeniería. Su lenguaje de programación (lenguaje M) es propio y está orientado al cálculo numérico, basándose en operaciones matriciales (aunque también admite operaciones escalares). Su amplia biblioteca de funciones lo convierte en un programa ideal para desarrollos matemáticos comunes en ingeniería, de ahí que su uso en carreras técnicas esté muy extendido.

MatLab no está recomendado para programar algoritmos muy complejos o muy grandes, ni interfaces de usuario elaboradas. Sin embargo, el paquete MatLab incluye dos herramientas que, para pequeños modelos, resultan funcionar bastante bien: *Simulink* y *GUIDE*.

El lenguaje M es interpretado, haciéndolo más dinámico y permitiendo un uso de la memoria más ágil, comparado con otro tipo de lenguajes. Así, la



declaración de variables previas no es necesaria, como, por ejemplo, en Fortran, de modo que las variables en MatLab se parecen más a las definidas en general por las matemáticas. Como fundamentalmente MatLab trabaja con matrices, simplifica mucho las cosas que no tengan que dimensionarse previamente. El coste de esta flexibilidad es menor potencia computacional.

Para conocer más sobre la programación en MatLab consultar la bibliografía del presente documento.

2.2. INTERFAZ DE MATLAB

Para la comprensión del presente PFC y utilización de la aplicación desarrollada en GUIDE, se muestran a continuación los elementos más básicos de la interfaz de MatLab (ver Ilustración 2-1).

1. Current Directory browser

Especificación del directorio de trabajo. En este cuadro de diálogo se muestra la ruta en la cual MatLab trabajará durante la sesión. Al pulsar el icono de la derecha se puede cambiar dicha ruta.

2. Current Directory

Muestra los archivos presentes en la ruta especificada en el punto 1. Es de gran utilidad en el caso de programación en GUIDE para llevar un buen control de cada GUI. Las funciones y archivos que se invoquen deben estar presentes en este directorio.

3. Ventana de comandos

Es el medio por el cual el usuario se comunica con el programa. Permite ejecutar comandos y llamar a funciones y ficheros .m.

4. Botón de acceso a la herramienta GUIDE

Botón de acceso directo a GUIDE. Despliega un menú de inicio en el que se puede elegir comenzar con una GUI en blanco, abrir una GUI existente o comenzar trabajando con una plantilla.

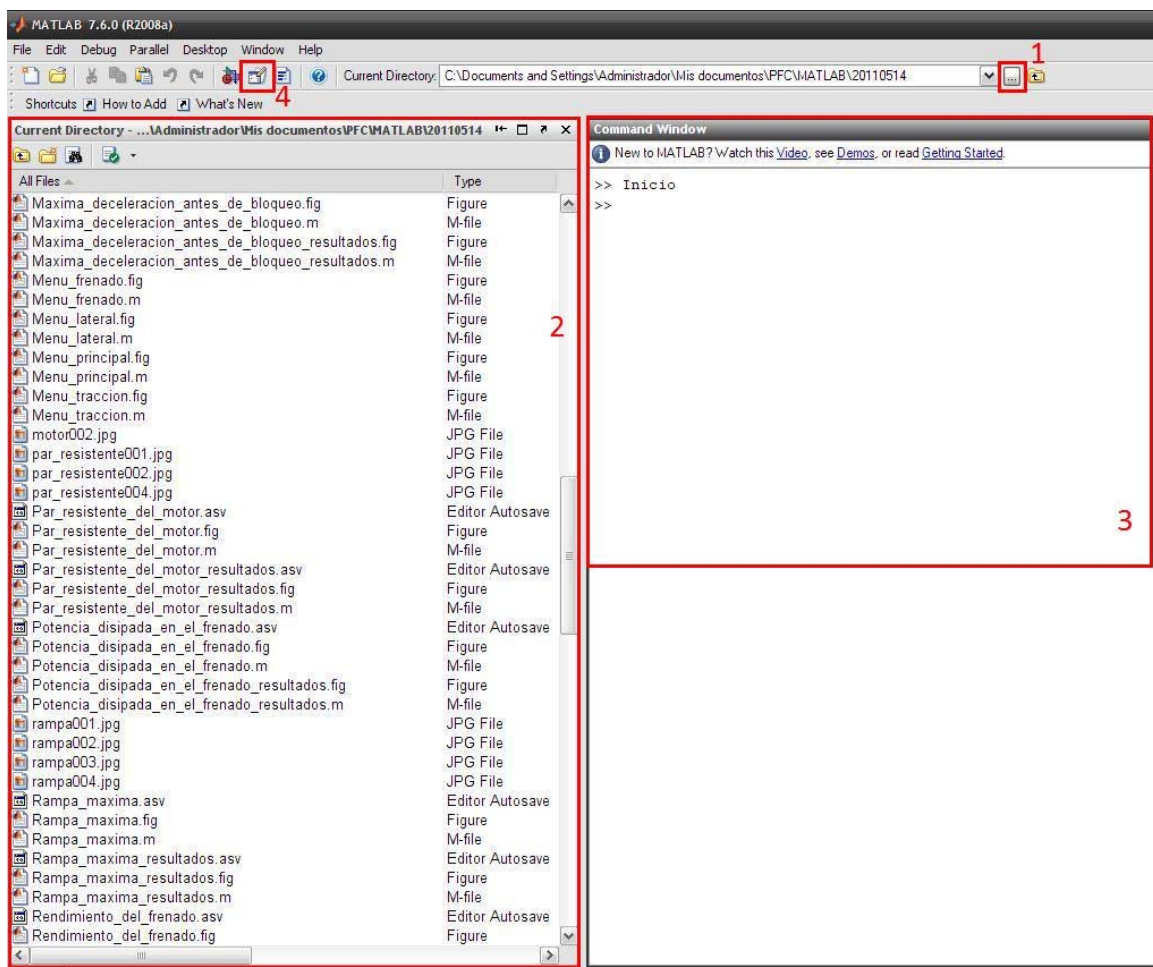
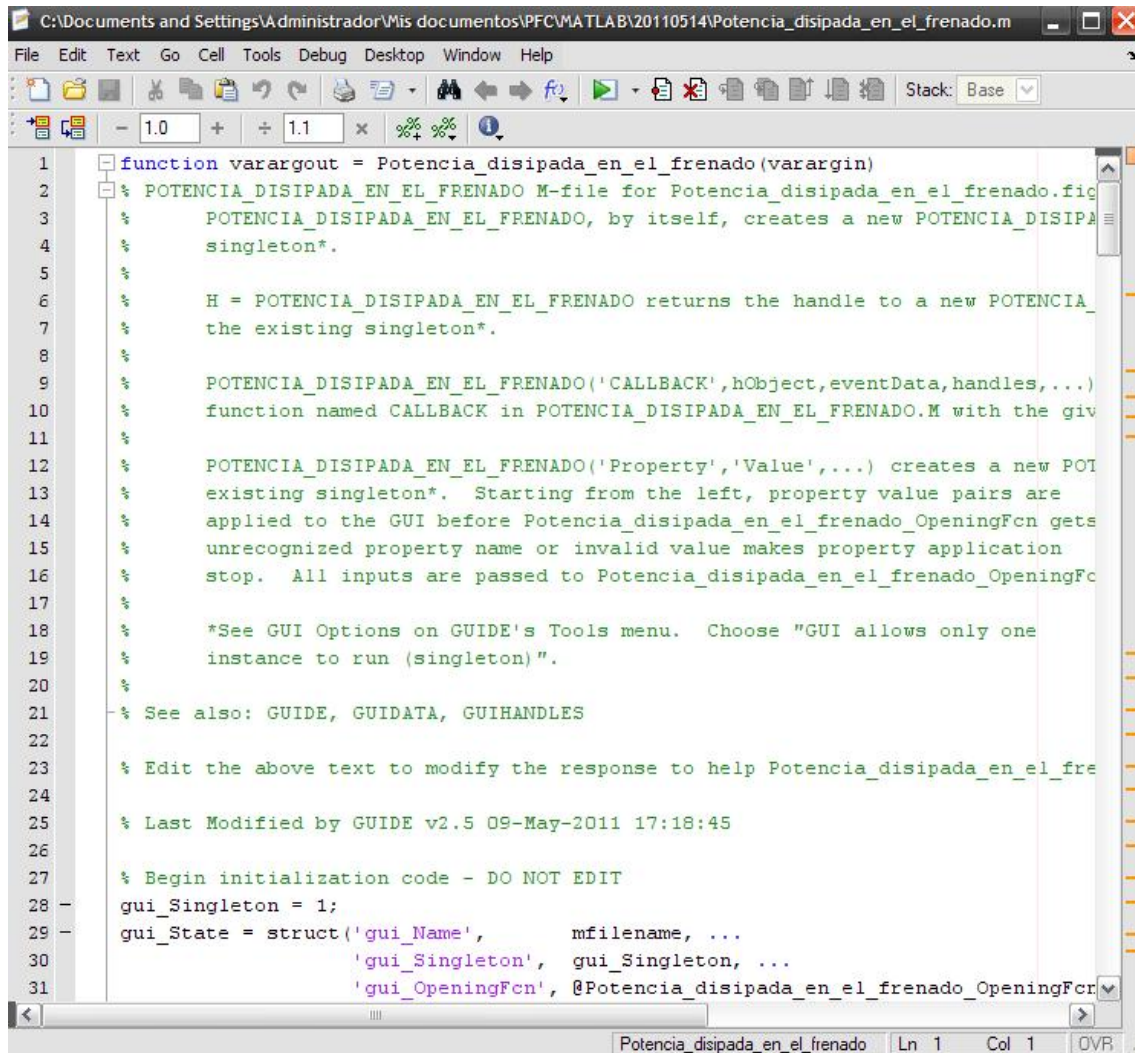


Ilustración 2-1. Interfaz de MatLab



```
1 function varargout = Potencia_disipada_en_el_frenado(varargin)
2 % POTENCIA_DISPADA_EN_EL_FRENADO M-file for Potencia_disipada_en_el_frenado.fig
3 %   POTENCIA_DISPADA_EN_EL_FRENADO, by itself, creates a new POTENCIA_DISPADA_EN_EL_FRENADO
4 %   singleton*.
5 %
6 %   H = POTENCIA_DISPADA_EN_EL_FRENADO returns the handle to a new POTENCIA_DISPADA_EN_EL_FRENADO
7 %   the existing singleton*.
8 %
9 %   POTENCIA_DISPADA_EN_EL_FRENADO('CALLBACK', hObject,eventData,handles,...) calls any
10 %   function named CALLBACK in POTENCIA_DISPADA_EN_EL_FRENADO.M with the given input arguments.
11 %
12 %   POTENCIA_DISPADA_EN_EL_FRENADO('Property','Value',...) creates a new POTENCIA_DISPADA_EN_EL_FRENADO
13 %   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are applied to the GUI before
14 %   Potencia_disipada_en_el_frenado_OpeningFcn gets called. An unrecognized property name or invalid
15 %   value makes property application stop. All inputs are passed to Potencia_disipada_en_el_frenado_OpeningFcn
16 %   via varargin{1}.
17 %
18 % *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one instance to run (singleton)".
19 %
20 %
21 % See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
22
23 % Edit the above text to modify the response to help Potencia_disipada_en_el_frenado
24
25 % Last Modified by GUIDE v2.5 09-May-2011 17:18:45
26
27 % Begin initialization code - DO NOT EDIT
28 gui_Singleton = 1;
29 gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
30                   'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
31                   'gui_OpeningFcn', @Potencia_disipada_en_el_frenado_OpeningFcn, ...
```

Ilustración 2-2. Interfaz del Editor/Debugger de MatLab. Edición del código de `Potencia_disipada_en_el_frenado`

Editor/Debugger (ver Ilustración 2-2)

Es el lugar en el cual se muestra y se puede editar el código en lenguaje M de un determinado programa o función.



2.3. ACERCA DE GUIDE

La herramienta GUIDE de MatLab es una utilidad que permite diseñar interfaces gráficas muy simples. Permite la ejecución de todas las funciones disponibles en la librería de MatLab. En las nuevas versiones (MatLab Versión 7 R14 y superiores) permite también la inserción de controles ActiveX, siempre que se corra la aplicación en Microsoft Windows. Respecto a este sistema operativo, resulta interesante resaltar la similitud entre GUIDE y Visual Basic.

Una interfaz gráfica es un programa que, utilizando imágenes y objetos gráficos, forma una interfaz que represente información en pantalla y permita al usuario interactuar con la misma. La aplicación de entornos gráficos en los programas es, actualmente, lo más común. Desde la entrada del entorno de escritorio Windows como interfaz gráfica de usuario aplicada en un sistema operativo, todos los programas se desarrollaron con esta misma idea.

La principal razón por la cual usar GUIDE, al igual que cualquier otra herramienta similar, es que la experiencia del usuario final es más intuitiva y sencilla. Esta razón se intensifica si, además, el usuario no posee conocimientos de MatLab, pues el desarrollo de un programa a través de GUIDE permite al usuario utilizar el mismo sin necesidad de escribir en la pantalla de comandos de MatLab, del mismo modo que un usuario sin conocimientos informáticos avanzados pueda utilizar los sistemas operativos actuales.

2.4. INTERFAZ DE GUIDE

La interfaz de GUIDE se muestra en la Ilustración 2-3 y se explica a continuación.

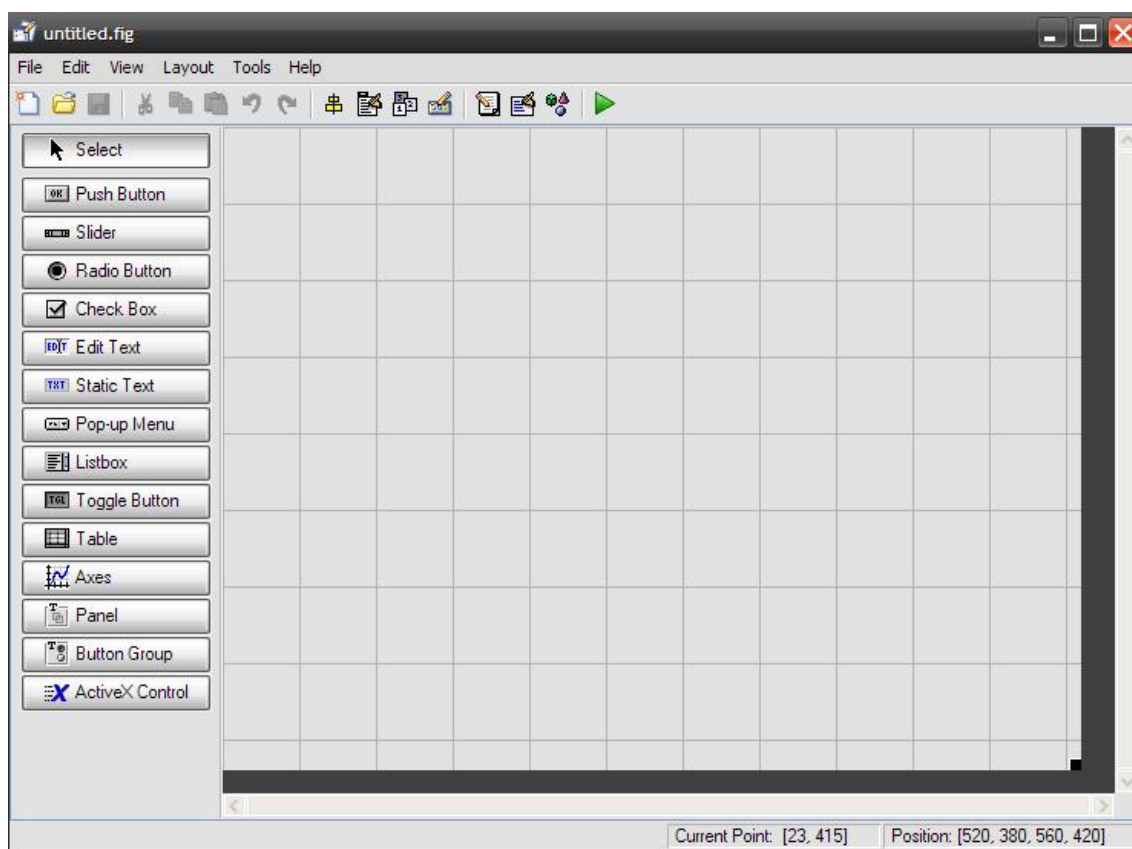


Ilustración 2-3. Captura de pantalla de la interfaz de GUIDE

En la anterior figura se encuentran los siguientes objetos. Nótese que no todos se han usado en este PFC.

Select

Objeto activo por defecto. Corresponde a la herramienta que permite seleccionar objetos para moverlos en la GUI y acceder a su *property inspector*.

Push Button

Crea un botón rectangular, que puede mostrar un texto, al cual se le puede asociar acciones al hacer clic sobre el mismo. Objeto



ampliamente utilizado en este PFC. Se ha usado para confeccionar botones de acción que permitan ir de una GUI a otra al hacer clic sobre ellos.

Slider

Se trata de una barra deslizante que puede ser desplazada por el usuario, de modo que la posición relativa de esta barra en su canal se asocia a un valor numérico, dentro del rango especificado. Este objeto no se ha utilizado en este PFC.

Radio Button

Si está aislado, este objeto cumple las mismas funciones que un *check box*. Si se tienen varios de estos objetos en un grupo, adquieren un carácter mutuamente exclusivo, previa programación. Este objeto no se ha utilizado en este PFC.

Check Box

Se trata de una casilla de verificación, que puede tomar estado de “seleccionado” o “no seleccionado” al hacer clic sobre el mismo. Este objeto no se ha utilizado en este PFC.

Edit Text

Texto editable. Permite que el usuario introduzca una cadena de caracteres. Objeto ampliamente utilizado en este PFC. Se ha utilizado para confeccionar cuadros de texto que permitan la introducción de datos por parte del usuario y para mostrar resultados⁴.

⁴ Aunque también se podría haber elegido *static text* para mostrar resultados, de este modo el usuario puede seleccionar el texto mostrado y copiarlo.



Static Text

Texto estático. Permite mostrar un texto no modificable por el usuario en la ventana. Objeto ampliamente utilizado en este PFC para mostrar diversos textos en cada GUI.

Pop-up Menu

Crea un menú desplegable en la figura, el cual al hacer clic sobre él, despliega distintos textos, desarrollándose de arriba hacia abajo, correspondientes a una lista de opciones seleccionables. Sólo se ha utilizado en la GUI definida en el apartado 4.4.8.

Listbox

Muestra una lista de opciones en forma de texto, de modo que puedan ser seleccionadas con el ratón una o varias de las mismas. Este objeto no se ha utilizado en este PFC.

Toggle Button

Se trata de un botón que puede tener dos estados, encendido o apagado, de modo que según su estado muestra un aspecto de relieve distinto. Su estado binario se puede modificar por el usuario al hacer clic sobre él. Este objeto no se ha utilizado en este PFC.

Table

Crea una tabla de “ $n \times n$ ” elementos, de modo que se pueden mostrar valores en cada elemento. Este objeto no se ha utilizado en este PFC.

Axes

Crea un objeto con ejes coordenados sobre el cual se pueden mostrar gráficas o imágenes. Objeto ampliamente utilizado en este PFC.

Panel

Permite agrupar objetos relacionados en la GUI. Este objeto no se ha utilizado en este PFC.

Button Group

Permite agrupar objetos y establecer exclusividad mutua entre botones. Este objeto no se ha utilizado en este PFC.

ActiveX Control

Permite usar controles tipo ActiveX. Este objeto no se ha utilizado en este PFC.

Y además de los botones anteriores, se han usado las siguientes funcionalidades, identificadas en la Ilustración 2-4.

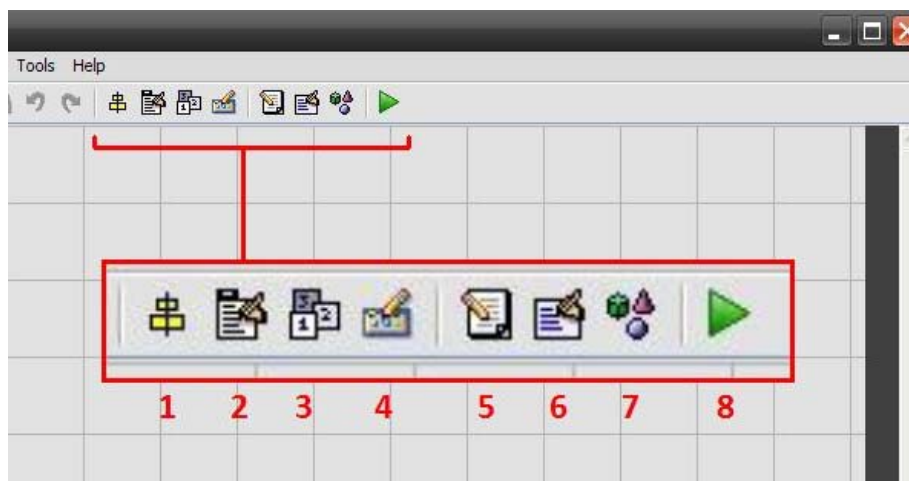


Ilustración 2-4. Barra de herramientas en el editor de figuras de GUIDE

1. Align Objects

Herramienta que permite alinear objetos en el área de trabajo de distintas maneras.



2. Menu Editor

Permite crear una barra de menús superior en la GUI.

3. Tab Order Editor

Herramienta que permite ordenar los objetos en la GUI, de forma que al pulsar el tabulador por parte del usuario, se posicione en cada objeto en el orden establecido.

4. Toolbar Editor

Editor de la propia barra de herramientas. Permite añadir o sustraer distintas funcionalidades.

5. M-file Editor

Al pulsar este botón se accede al *m-file* correspondiente a la presente GUI.

6. Property Inspector

Abre el editor de propiedades de objetos. Ver apartado 2.5.

7. Object Browser

Muestra un árbol en el que se indican todos los objetos de la presente GUI.

8. Run Figure

Al pulsarse se ejecuta la presente GUI. Acceso directo: *Ctrl+T*.

2.5. CONCEPTOS BÁSICOS PARA PROGRAMAR EN GUIDE

En este apartado se explican los conceptos sobre GUIDE necesarios para entender la programación de la aplicación “Análisis dinámico de un



vehículo automóvil”, desarrollada en este PFC. Para conocer más sobre la programación en GUIDE, consultar la bibliografía.

Primero, es necesario entender que al crear una GUI, MatLab genera a su vez dos archivos: un archivo **.fig* y un archivo **.m*. Una GUI necesita ambos para poder ejecutarse y estos deben ser coherentes entre ellos. A continuación se explican brevemente.

El archivo **.fig*, que llamaremos figura (del inglés, *figure*), contiene el diseño gráfico de la GUI. Al ejecutarse por defecto, muestra el entorno gráfico final. Si se ejecuta desde el editor⁵, permite la edición de los objetos y modificar los formatos y parámetros de los mismos. Las modificaciones que se hagan en este editor se extrapolan automáticamente al archivo **.m* que contiene el código.

El archivo **.m* contiene el código asociado a la figura en lenguaje M. También se denomina *m-file*. MatLab interpreta este código para mostrar la figura asociada, que es con la que el usuario puede interactuar. Todas las funciones se programan en este archivo. El código tiene una estructura segmentada, ya que cada objeto de la GUI tiene unas líneas de código asociadas. A diferencia de un código normal, el código de este *m-file* no se ejecuta secuencialmente desde la primera hasta la última línea, sino que se ejecuta cada segmento asociado a la figura, según el usuario active cada objeto (o sea activada automáticamente).

En relación a esto último, resulta de gran utilidad la herramienta *callback* (llamada) a la hora de diseñar una GUI. Desde el editor GUIDE de la figura, al hacer clic derecho sobre un objeto, podemos acceder a la función del código

⁵ En las últimas versiones de MatLab, existe la posibilidad de acceder a este editor desde el cuadro *Current Directory* explicado en el apartado 2.2. Al hacer clic derecho sobre un archivo tipo *.fig*, una de las opciones mostradas es *Open in GUIDE*, que nos permite acceder al editor de GUIDE de esta figura en particular.

del mismo a través de su *callback* (ver Ilustración 2-5). MatLab abre el archivo *.m asociado y además nos sitúa en la línea de código correspondiente. De este modo, podemos escribir el código deseado para cada objeto con gran rapidez, sin tener que buscar en el código el lugar apropiado. El *callback*, por lo tanto, es el conjunto de líneas de código que se ejecutan al activarse un objeto.

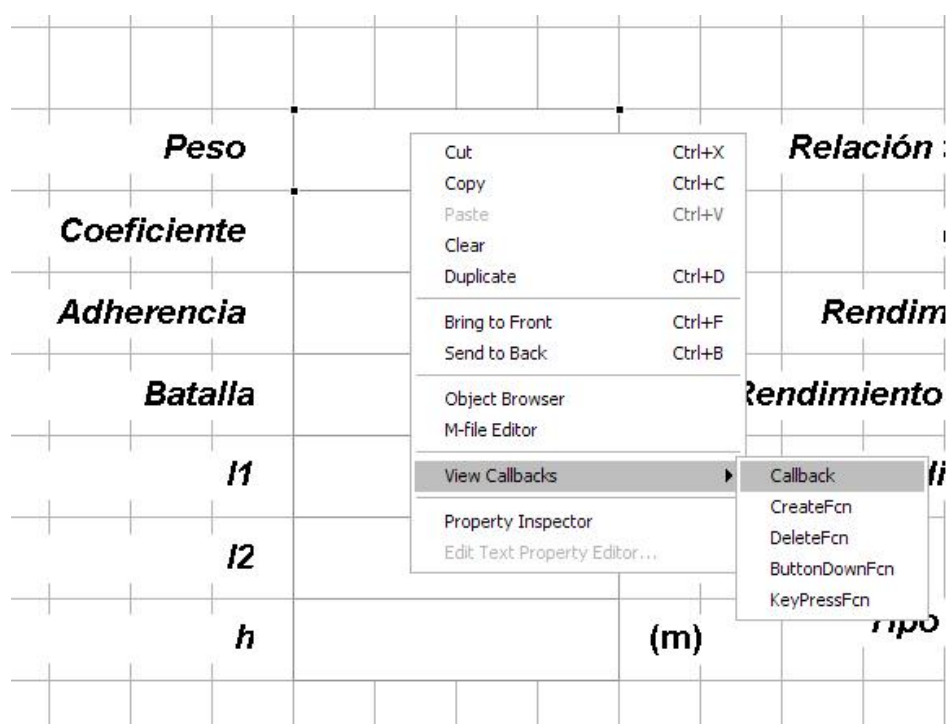


Ilustración 2-5. Captura de pantalla. Acceso al callback de un objeto

Al crear desde cero una GUI, el *m-file* generado por MatLab ya contiene un código inicial (ver Ilustración 2-6).

```
- function varargout = untitled1(varargin)
+ % UNTITLED1 M-file for untitled1.fig %...%

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @untitled1_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @untitled1_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before untitled1 is made visible.
- function untitled1_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
+ % This function has no output args, see OutputFcn. %...%

% Choose default command line output for untitled1
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
- function varargout = untitled1_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
+ % varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT); %...%

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
```

Ilustración 2-6. Código inicial creado en el m-file de una GUI titulada “untitled1”⁶

⁶ Nótese que se han minimizado algunas líneas del código que sólo contienen comentarios. Esta funcionalidad es interesante para acotar visualmente el código a la hora de programar.



En general, este código no necesita ser modificado y tiene lo necesario para abrir la interfaz vacía. De hecho si, por ejemplo, se cambia el nombre de la GUI desde el editor de la figura, automáticamente se cambia este código en el *m-file*. Si cambiamos desde el editor el formato general de la figura, como su tamaño o el color de fondo, este código inicial se ve igualmente modificado. Del mismo modo, a medida que se crean objetos en la figura, se generan líneas de código en el *m-file* automáticamente (que pueden ser editadas tal y como se explica arriba).

Todos los objetos de una GUI tienen diferentes propiedades (color, valor, posición, string, etc.) que los identifican. Todas estas propiedades se almacenan en una estructura interna a cada objeto llamada *handles*. Por ello, cuando se quiere acceder o manipular alguna propiedad de un objeto, se dice que se accede al *handle* del objeto. Por lo tanto, se puede considerar que el *handles*, en general, es la memoria que almacena todas las propiedades de los objetos en una GUI. Estas propiedades tienen valores por defecto, que se crean al tiempo que el usuario crea el objeto, según el tipo del mismo. Al modificar alguna propiedad de un objeto, como su tamaño, se cambiar la memoria del *handles*.

Gracias a esta estructura, se pueden manipular las propiedades entre objetos dentro de una misma GUI, con la mayoría de las funciones de la librería de MatLab. Sin embargo, esta memoria, al ser característica de los objetos de una GUI en concreto, se pierde al cerrar la misma. Por eso, si queremos utilizar los valores de ciertas propiedades de un objeto de una GUI en otra, tendremos que indicarlo, almacenando este valor en la memoria genérica de MatLab.

Cada objeto de una GUI puede editarse haciendo doble clic sobre el mismo. Al hacer esto se despliega el menú editor de objetos (ver Ilustración 2-7), también llamado *Property Inspector*. En este menú se cambian los valores de las propiedades del objeto, y por lo tanto su *handles*. Los parámetros más

importantes de este menú, para comprender el presente PFC, a continuación de la Ilustración 2-7.

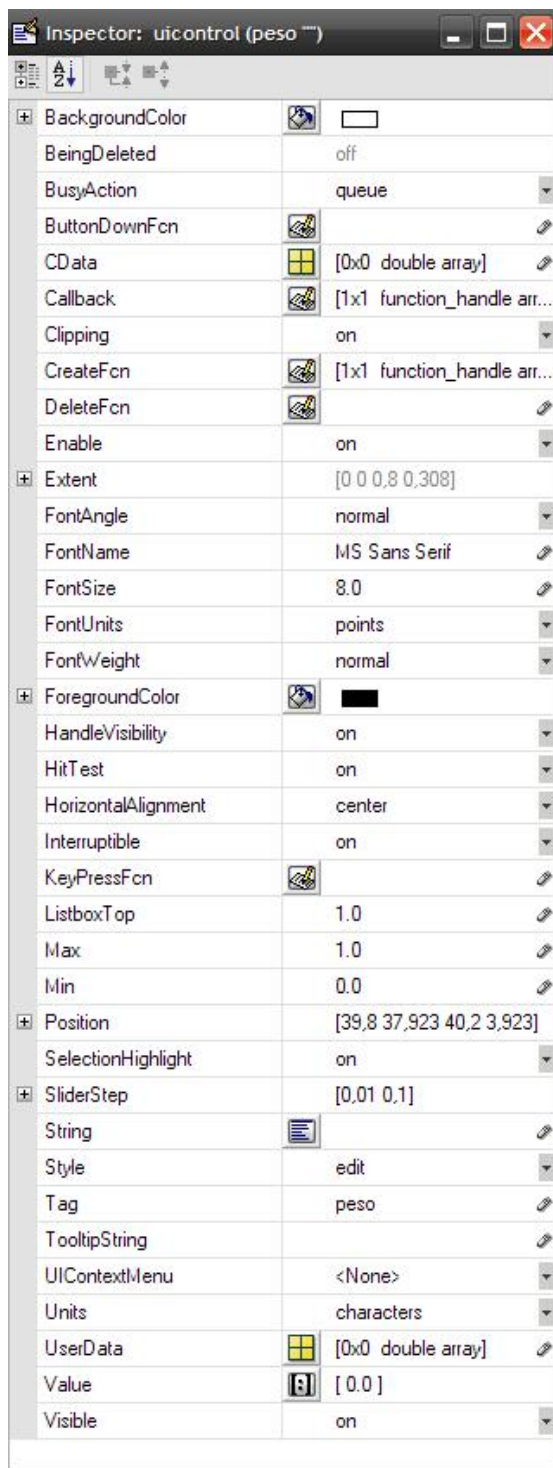


Ilustración 2-7. Menú Property Inspector de un objeto con tag “peso”



Tag (etiqueta)

Es el nombre que MatLab asocia al objeto. Al crear un objeto nuevo, MatLab le da un nombre por defecto que depende del tipo de objeto. Esta etiqueta es la referencia al objeto y por lo tanto debe ser única en la GUI.

String (cadena de texto)

Si se da el caso, pues sólo algunos objetos disponen de este campo, es el texto que se mostrará en el objeto al abrir normalmente la GUI. Nos sirve, por ejemplo, para mostrar un texto estático en pantalla, para dejar en blanco un cuadro de texto editable (para que el usuario lo rellene) o para mostrar un resultado de un cálculo en un cuadro de texto (dando la orden de que el *string* del objeto tome el valor de una variable, como se verá más adelante).

FontSize/Weight/Angle/Name

Permiten cambiar el formato del texto del *String*.

BackgroundColor

Establece el color de fondo del objeto.

ForegroundColor

Establece el color del *String*.

MatLab diferencia entre mayúsculas y minúsculas en los nombres de las variables. Este hecho hace que el criterio de asignación de nombres sea muy importante. Se debe tener presente esta diferenciación, pues el riesgo de error programando es muy alto. Sin embargo, usada con cuidado, esta característica se puede aprovechar para facilitar la programación. Como se indica más adelante, ya que la programación de la aplicación desarrollada en este PFC incluye un enorme número de objetos y variables, y como muchos de ellos



están asociados entre sí, es de gran ayuda que los nombres entre objetos y variables coincidan si es posible. Así, si, por ejemplo, una variable se denota en mayúsculas como “VARIABLE”, y el objeto asociado se denota en minúsculas como “variable”, MatLab las diferencia entre sí, mientras que al programador le supone una asociación trivial. Un procedimiento similar se ha llevado a cabo en este PFC (ver apartado 4.4).

GUIDE permite la inserción de gráficos (*axes*). Además, existe la posibilidad de, a través de los mismos, como se muestra en el apartado 2.6, incluir imágenes en una GUI. Esta función es complicada, pues la herramienta no está diseñada en un principio para tal fin.

2.6. FUNCIONES MÁS IMPORTANTES UTILIZADAS

En este apartado se comentan las funciones más importantes usadas en la programación en GUIDE de la aplicación en cuestión. Las funciones básicas de MatLab no se incluyen, al no ser objeto del presente PFC su explicación. En el apartado 4.4 se muestra la implementación de estas funciones en el programa.

Close

Esta función cierra la GUI especificada en la sentencia. Si en la siguiente línea se escribe el nombre de otra GUI, se consigue cerrar la presente ventana y abrir una nueva.

Ejemplo:

```
close Menu_principal  
Menu_traccion
```



Con estas dos líneas se cierra la GUI “Menu_principal” y a continuación se abre la GUI “Menu_traccion”.

Este tipo de sentencias se añaden en *push buttons* para ir de una GUI a otra.

Str2double

Función “*String-to-double*”. Esta función convierte un formato tipo *string* (código ASCII) a un formato numérico de doble precisión. Con esta sentencia se convierten los valores de entrada introducidos por el usuario para poder ser operados a continuación.

```
X = str2double('str')
```

Get y set

Estas dos funciones nos permiten manejar datos entre objetos. Con la sentencia *get* obtenemos el valor que especifiquemos de un objeto a través del *handles*. Con la sentencia *set* establecemos el valor que especifiquemos en el *handles* de un objeto. La estructura sería como la del ejemplo siguiente.

Ejemplo:

```
Peso=str2double(get(handles.peso,'String'));  
(...)  
set(handles.l1,'String',L1);
```

Con la primera línea asociamos a la variable “Peso” el valor introducido en el objeto de la GUI con etiqueta asociada “peso”. Más tarde, con la segunda línea (y en este caso en otra GUI), establecemos que el string del objeto cuya etiqueta es “l1” tome el valor de la variable “L1”.

Imread e imshow

Con estas funciones podemos introducir imágenes en nuestra interfaz. Sin embargo, no se permite hacerlo directamente y se debe usar el siguiente método. Primero, deberemos crear en la figura un *axes* que



servirá de marco. A continuación, se le asigna a ese *axes* la imagen que se desea.

Ejemplo:

```
axes2 = imread('logo_uc3m.jpg');  
axes(handles.axes2);  
axis off;  
imshow(axes2);
```

Al objeto *axes* con etiqueta asociada “axes2” se le establece la imagen leída a través de *imread*. Tras guardar “axes2”, se quitan los ejes coordenados y por último, con la sentencia *imshow*, se muestra “axes2”, ya que éste es ahora la imagen leída con *imread*.

Global

Declara una variable como global, de modo que quede guardada en la memoria de MatLab en vez de en el *handles* de la GUI. Esto nos permite almacenar el valor de una variable y recuperarla cuando deseemos aunque cerremos la GUI. Es necesario declarar las variables que intervengan en cada caso globalmente, tanto en la GUI donde se introducen los valores, como en la GUI donde se recuperan.

Ejemplo:

```
global Peso
```

Si, por ejemplo, queremos calcular el reparto de cargas en la frenada, la sentencia anterior debe escribirse primero en el callback del *push button* “Calcular” de la GUI “Reparto_de_cargas_en_la_frenada”, y después en las primeras líneas de la GUI “Reparto_de_cargas_en_la_frenada_resultados”. Ver apartados 4.4.6 y 4.4.7.

Isnan

Función que da resultado verdadero (*true*) si el valor que analiza es NaN (*Not-a-number*, no es un número) y falso (*false*) si el valor es un número.



Nos permite identificar si se ha introducido un número en un cuadro de texto de datos de entrada.

```
TF = isnan(A)
```

Errordlg

Crea y abre un cuadro de diálogo de error. Con esta función podemos mostrar en pantalla mensajes de error en determinadas situaciones.

Ejemplo:

```
if isnan(Peso)
    errordlg('El valor del peso debe ser numérico','ERROR')
    set(handles.peso,'String',0);
    Peso=0;
    return
end
```



Capítulo 3

Conceptos teóricos

En este capítulo se presentan los conceptos teóricos necesarios para desarrollar la aplicación en GUIDE. Se muestran, de la forma más resumida posible, las fórmulas necesarias para cada cálculo. Si se quiere conocer más sobre el origen de las mismas, revisar [1] de la bibliografía. De dicha referencia se basan todas las fórmulas de este capítulo, que en general están extraídas sin ningún tipo de cambio. En los casos que se considera es importante remitirse a lo explicado por este libro, se incluye una cita de referencia.

Todos los símbolos de este capítulo están recogidos en el apartado 1.7 y sus unidades en 1.8. Cada uno de los siguientes apartados coincide con una prestación que el programa, descrito en el Capítulo 4, calcula.

3.1. DINÁMICA LONGITUDINAL. TRACCIÓN

3.1.1. REPARTO DE CARGAS ESTÁTICAS

Para calcular el reparto de cargas estáticas, se supone el vehículo en posición horizontal y parado. En general, el alumno dispone de, a través de una ficha técnica, la carga en el eje delantero y trasero del vehículo. Así, conociendo estos datos, puede calcular la posición longitudinal del CDG, definido por l_1 y l_2 , despejando en las ecuaciones siguientes.

$$F_{zd} = \frac{P \cdot l_2}{L}$$

$$F_{zt} = \frac{P \cdot l_1}{L}$$

Sin embargo, estas fichas técnicas no suelen dar valores de carga, sino el reparto de cargas en porcentaje. De este modo, el cálculo de l_1 y l_2 es aún más sencillo, a través de las dos expresiones siguientes.

$$l_1 = F_{zt}(\%) \cdot L$$

$$l_2 = F_{zd}(\%) \cdot L$$

3.1.2. ESFUERZO TRACTOR MÁXIMO

El esfuerzo tractor máximo que puede desarrollar el vehículo depende de ciertas condiciones, ya que puede estar limitado por la adherencia o por la fuerza motriz. Por lo tanto, si llamamos F_t al esfuerzo tractor máximo, éste será:

$$F_t = \min\{F_{motriz}, F_{adh}\}$$

La fuerza motriz disponible se calcula con la siguiente ecuación.

$$F_t = \xi_1 \cdot M_m^{\max} \cdot \eta_{motor} \cdot \eta_{transmisión} \cdot \frac{1}{r_c}$$

Por otro lado, la fuerza adherente depende del tipo de tracción del vehículo, de modo que:

- Si el vehículo es de tracción delantera:

$$F_{adh} = \mu \cdot \frac{P \cdot (l_2 + h \cdot f_r)}{L + \mu \cdot h}$$

- Si el vehículo es de tracción trasera:

$$F_{adh} = \mu \cdot \frac{P \cdot (l_1 - h \cdot f_r)}{L - \mu \cdot h}$$

- Si el vehículo es de tracción a las cuatro ruedas:

$$F_{adh} = \mu \cdot P$$

Así, una vez definido el tipo de tracción, se calcula la fuerza adherente disponible con la fórmula que corresponda. Después, se compara con la fuerza motriz que puede desarrollar el motor. La menor de ambas supone una limitación y por lo tanto es la máxima fuerza tractora del vehículo.

3.1.3. RAMPA MÁXIMA

Se considera que la rampa máxima que puede ascender el vehículo es tal que la velocidad del mismo es constante y lo suficientemente baja como para despreciar la resistencia aerodinámica.

Además, se supone que el esfuerzo tractor máximo se iguala a las resistencias totales que actúan sobre el vehículo y que está limitado por la adherencia, por lo que, tal y como se explica en la literatura, se tiene el siguiente ángulo que define la rampa.

$$\varphi = \arcsen\left(\frac{F_t - P \cdot f_r}{P}\right)$$

Admitiéndose la siguiente simplificación para ángulos pequeños.

$$j = \frac{F_t - P \cdot f_r}{P}$$

En cualquier caso, la rampa se suele expresar como los metros verticales subidos por cada cien metros horizontales recorridos. Por lo tanto, el cálculo, para ser lo más correcto posible, se realizará con la fórmula siguiente.

$$Rampa = 100 \cdot tg\left(\arcsen\left(\frac{F_t - P \cdot f_r}{P}\right)\right)$$

Y por ello, la rampa se expresa en forma de porcentaje.

3.1.4. VELOCIDAD MÁXIMA Y RESISTENCIAS

La resistencia total al avance está compuesta de las tres resistencias siguientes:

- Resistencia aerodinámica:

$$R_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot A_f \cdot V^2$$

- Resistencia a la rodadura:

$$R_r = (f_0 + f_v \cdot V^n) \cdot P$$

Admitiéndose la aproximación:

$$R_r = f_r \cdot P$$

⁷ Nótese que esta resistencia es la ejercida en el eje longitudinal del vehículo exclusivamente y por ello el coeficiente de resistencia aerodinámico es el del eje x.

- Resistencia gravitatoria:

$$R_g = P \cdot \text{Sen} \varphi^9$$

De modo que la resistencia total al avance es la suma de las tres.

$$R_T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot A_f \cdot V^2 + (f_r + \text{Sen} \varphi) \cdot P$$

Para el cálculo de la velocidad máxima, se debe tener en cuenta que ésta puede estar limitada por la potencia máxima del motor o por la transmisión. De este modo, la velocidad máxima será la mínima de $V_{\max,1}$ (según la potencia máxima del motor) y $V_{\max,2}$ (según la transmisión), definidas en las dos ecuaciones siguientes.

$$V_{\max,1} = \frac{H_{\max}}{R_T}$$

$$V_{\max,2} = \frac{\pi \cdot n_{\max}}{30 \cdot \xi_q} \cdot (1 - i)$$

Es decir, siendo V la velocidad máxima,

$$V = \min \{V_{\max,1}, V_{\max,2}\}$$

Sin embargo, nótese que para el cálculo de $V_{\max,1}$ se necesita conocer el valor de la suma de resistencias al avance, que a su vez depende de la

⁸ Ver el razonamiento de esta suposición en p. 49 de [1] en la Bibliografía.

⁹ Aunque en general se calcula la velocidad máxima del vehículo en superficie llana, se mantiene la resistencia gravitatoria para el cálculo de la velocidad máxima como fin didáctico, pues puede interesar analizar la influencia de la rampa en dicha prestación. En cualquier caso, el usuario debería ser coherente y asumir pendiente nula si quiere conocer la velocidad máxima del vehículo de forma ortodoxa.

velocidad máxima. Por lo tanto, se debe calcular $V_{\max,1}$ despejando en la siguiente expresión.

$$H_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_x \cdot A_f \cdot V_{\max,1}^3 + (f_r + \text{Sen}\varphi) \cdot P \cdot V_{\max,1}$$

Si, tras tener esto en cuenta, resulta que la velocidad máxima es $V_{\max,2}$, se debe calcular el valor de la resistencia aerodinámica (y, por lo tanto, también de la total) con dicha velocidad.

3.1.5. ACELERACIÓN

A partir de los resultados obtenidos anteriormente, la aceleración del vehículo se calcula con la siguiente ecuación.

$$a = \frac{F_t - R_T}{\gamma_m \cdot P}$$

Nótese que el valor de la resistencia total de la fórmula anterior no se corresponde con la obtenida en el apartado 3.1.4, pues aquella se calcula para velocidad máxima (recuerde que la resistencia al avance depende de la velocidad). Para ser precisos, se debería obtener una curva de aceleración frente a la velocidad y encontrar el máximo de dicha curva. Sin embargo, por aproximación y para dejar al alumno la cuestión a resolver, se supondrá que la aceleración máxima se obtiene a muy baja velocidad, primera o segunda marcha engranada y considerando sólo resistencia a la rodadura y resistencia gravitatoria si se da el caso.

3.1.6. ACUAPLANEO

El acuaplaneo, también llamado hidroplaneo, acuaplaning o *aquaplaning*, es un proceso de inestabilidad dinámica debida a la pérdida de

contacto entre neumático y calzada, causada por la inserción de una capa de agua entre las dos superficies.

Se puede calcular la velocidad a la que el proceso se inicia (velocidad de transición) y la velocidad a la cual la capa de agua se introduce en la totalidad del contacto (velocidad de hidroplaneo), apareciendo la inestabilidad. Según algunos autores¹⁰, se pueden aproximar las siguientes relaciones.

$$V_{A1} = 3.94 \cdot \sqrt{p_i}$$

$$V_{A2} = 6.34 \cdot \sqrt{p_i}$$

Siendo V_{A1} la velocidad de transición y V_{A2} la velocidad de acuaplaneo.

Por lo tanto, calcularemos tales velocidades asumiendo que sólo dependen de la presión de inflado de los neumáticos. En realidad esto no es así, pero supone una aproximación conservativa para obtener un dato de partida para un análisis más exhaustivo o un valor de referencia con cierto factor de seguridad.

3.2. DINÁMICA LONGITUDINAL. FRENADO

3.2.1. PAR RESISTENTE DEL MOTOR EN UNA DETERMINADA MARCHA

Debido a la inercia de los componentes de la transmisión y del motor, surge un par de frenado, según la marcha a la que circule el vehículo.

$$M_{fm} = \frac{M_c \cdot \xi_j}{\eta_{transmission}}$$

¹⁰ Nombrados en p. 62-63 de [1] en la Bibliografía.

3.2.2. REPARTO DE LAS CARGAS EN LA FRENADA

Teniendo en cuenta las cargas estáticas definidas en el apartado 3.1.1 y la transferencia de carga que se produce desde el eje trasero al delantero, el reparto de cargas en la frenada se puede calcular como sigue.

$$F_{zd} = \frac{P}{L} \cdot (l_2 + h \cdot (\mu + f_r))$$

$$F_{zt} = \frac{P}{L} \cdot (l_1 - h \cdot (\mu + f_r))$$

Como se puede observar, es equivalente a suponer las cargas estáticas más una transferencia de cargas desde el eje trasero al eje delantero.

3.2.3. REPARTO ÓPTIMO EN LA FRENADA

Denominamos K_{fdo} y K_{fto} como las proporciones de esfuerzo de frenado en condiciones óptimas. Para calcular las mismas se debe resolver el siguiente sistema de ecuaciones.

$$\frac{K_{fdo}}{K_{fto}} = \frac{l_2 + h \cdot (\mu + f_r)}{l_1 - h \cdot (\mu + f_r)}$$

$$K_{fdo} + K_{fto} = 1$$

Nótese que dicho reparto resulta de considerar el reparto del apartado 3.2.2 como el óptimo. En los apartados 4.4.21 y 4.4.23 se muestran las consideraciones tomadas.

3.2.4. BLOQUEO DE LAS RUEDAS

A partir de un reparto de esfuerzos en el frenado en particular, se puede estudiar si las ruedas de los ejes delantero o trasero se bloquean. Para ello, se

debe comparar la máxima fuerza adherente disponible con la limitación de la fuerza de frenado impuesta por el limitador de presión¹¹. Este límite se puede calcular disponiendo de ciertos datos, pero se ha preferido mantener como variable de entrada en la aplicación. Así, si se definen los siguientes parámetros.

$F_{lim,d}$ Fuerza de frenado en el eje delantero a la que actúa el limitador.

$F_{lim,t}$ ¹² Fuerza de frenado en el eje trasero a la que actúa el limitador.

$F_{adh,d}$ Fuerza adherente máxima en el eje delantero.

$F_{adh,t}$ Fuerza adherente máxima en el eje trasero.

Donde:

$$F_{adh,d} = \mu \cdot F_{zd}$$

$$F_{adh,t} = \mu \cdot F_{zt}$$

Entonces:

- Si $F_{adh,d} < F_{lim,d}$, se bloquean las ruedas del eje delantero.
- Si $F_{adh,t} < F_{lim,t}$, se bloquean las ruedas del eje trasero.

¹¹ En p. 336-341 de [1] se puede ver un ejemplo práctico y comprender mejor esta comparación.

¹² En cualquier caso, el diseño del sistema debe ser tal que $F_{lim,d} > F_{lim,t}$, ya que la transferencia de carga en el frenado se produce desde las ruedas traseras a las delanteras.

3.2.5. MÁXIMA DECELERACIÓN SUFRIDA ANTES DE BLOQUEO

Las deceleraciones máximas que pueden obtenerse hasta que las ruedas delanteras y traseras, respectivamente, se bloqueen, son las siguientes.

$$\left(\frac{a}{g}\right)_d = \frac{\frac{\mu \cdot l_2}{L} + f_r \cdot K_{fd}}{K_{fd} - \frac{\mu \cdot h}{L}}$$

$$\left(\frac{a}{g}\right)_t = \frac{\frac{\mu \cdot l_1}{L} + f_r \cdot K_{ft}}{K_{ft} + \frac{\mu \cdot h}{L}}$$

A partir de las expresiones anteriores, se podría comenzar a graficar unas curvas de deceleración máxima.¹³

3.2.6. RENDIMIENTO DEL FRENADO

La deceleración máxima, en condiciones ideales, que puede conseguir un vehículo automóvil es:

$$\frac{a_i}{g} = \mu_{\max}$$

Como el reparto óptimo de frenado en cualquier condición es imposible de obtener, se define el rendimiento del frenado mediante la siguiente expresión.

¹³ Igualmente, se pueden analizar los riesgos del bloqueo con curvas de equiadherencia, que en vez de representar $\frac{a}{g} = f(K_{fd})$ como lo hacen las curvas de deceleración máxima, representan $F_{ft} = f(F_{fd})$, con la condición de que ambas ruedas alcancen la adherencia máxima al mismo tiempo. Ver p. 303-309 de [1] en la Bibliografía.

$$\eta_f = \frac{a_{\max}}{g \cdot \mu_{\max}}$$

Además, debido a cuestiones de seguridad y confort, se fija un límite de aceleración de unos $0.3 g$.¹⁴

3.2.7. DISTANCIA Y TIEMPO EN UNA FRENADA DE EMERGENCIA

La distancia recorrida por el vehículo desde una velocidad V hasta parada, se obtiene con la siguiente ecuación.

$$S_p = \frac{P \cdot \gamma_m}{g \cdot C_x \cdot A_f} \cdot \ln \left[1 + \frac{\frac{1}{2} \cdot C_x \cdot A_f \cdot V^2}{\eta_f \cdot \mu \cdot P + P \cdot \text{Sen} \varphi + P \cdot f_r} \right]$$

Además, se tiene que tener en cuenta el tiempo de reacción del sistema de frenado y el tiempo de reacción del conductor. De este modo, la distancia total recorrida en el frenado es la siguiente.

$$S_{pT} = S_p + V \cdot (t_{rc} + t_{rs})$$

Donde:

t_{rc} Tiempo de reacción del conductor.

t_{rs} Tiempo de reacción del sistema de frenado.

Se han tomado los siguientes valores para los cálculos realizados por la aplicación.

$$t_{rc} = 1s \quad ^{15}$$

¹⁴ Ver p. 315 de [1] para conocer más sobre este límite.

¹⁵ La estimación del tiempo de reacción es complicada. Se trata de un parámetro muy variable y cuyas suposiciones teóricas dejan un gran margen de error. La bibliografía estima un

$$t_{rs} = 0.3s$$

Para calcular el tiempo hasta parada, se sigue el mismo procedimiento. Primero, se calcula el tiempo de parada como sigue.

$$t_p = \frac{P \cdot \gamma_f}{g} \cdot \frac{V}{\eta_f \cdot \mu \cdot P + P \cdot \text{Sen} \varphi + P \cdot f_r}$$

A este tiempo, se le deben sumar los tiempos de reacción comentados arriba, para calcular el tiempo total hasta parada.

$$t_{pT} = t_p + t_{rs} + t_{rc}$$

Cabe decir, por último, que en las fórmulas anteriores se ha sustituido F_f por $\eta_f \cdot \mu \cdot P$.

3.2.8. POTENCIA DISIPADA EN EL FRENADO

Para el cálculo de este parámetro, se deben tener en cuenta dos situaciones diferentes.

La primera situación corresponde a un frenado brusco desde una determinada velocidad hasta detener el vehículo (misma situación que en 3.2.7), donde la potencia a disipar por los frenos es:

$$H_{m1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{P \cdot \gamma_f}{g} \cdot \frac{V^2}{t_a + t_f}$$

La segunda situación corresponde a un descenso prolongado a velocidad constante. La potencia que debe disipar el sistema de frenos es:

$$H_{m2} = V \cdot P \cdot \text{Sen} \varphi$$

tiempo de reacción de entre 0.5 s y 2 s. Sin embargo, en multitud de estudios oficiales se recomienda aproximar este valor a 1 s.

3.3. DINÁMICA LATERAL

La mayor parte del código relacionado con la dinámica lateral no se ha adaptado desde la literatura, sino desde una aplicación en GUIDE ya existente. Por ello, los conceptos teóricos de los apartados 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3 y 3.3.4, simplemente hacen referencia a la aplicación AECVE (Ver [4] y [12] de la Bibliografía), donde se expone razonadamente la obtención de las ecuaciones de aceleración lateral máxima. Estos apartados estudian las condiciones de estabilidad en condiciones de vuelco estático. La programación de la transferencia lateral, en cambio, sí que ha sido planteada a partir del temario de la asignatura directamente, al no estar incluida en AECVE, por lo que sus conceptos teóricos se exponen al igual que los de la dinámica longitudinal, en el apartado 3.3.5.

3.3.1. MODELO DE VEHÍCULO CON SUSPENSIÓN RÍGIDA

Según AECVE, el umbral de vuelco corresponde con la máxima aceleración lateral que puede soportar el vehículo antes de volcar, calculado como sigue.

$$a_{ymáx} = g \cdot \frac{B}{2 \cdot h}$$

3.3.2. MODELO DE VEHÍCULO CON SUSPENSIÓN ELÁSTICA

Según AECVE, el umbral de vuelco corresponde con la máxima aceleración lateral que puede soportar el vehículo antes de volcar, calculado como sigue.

$$a_{ymáx} = g \cdot \left(\frac{B}{2 \cdot h} - \phi_L \right)$$

3.3.3. MODELO DE VEHÍCULO CON SUSPENSIÓN DE BALLESTAS

Según AECVE, el umbral de vuelco corresponde con la máxima aceleración lateral que puede soportar el vehículo antes de volcar, calculado de la misma forma que la suspensión elástica, teniendo en cuenta que el ángulo de balanceo puede incrementarse por el juego libre en el apoyo de la ballesta.

$$a_{ymáx} = g \cdot \left(\frac{B}{2 \cdot h} - \left(\phi_L + \frac{J}{C} \right) \right)$$

3.3.4. MODELO DE VEHÍCULO CON SUSPENSIÓN INFLUENCIADA POR LA POSICIÓN DEL CENTRO DE BALANCEO

Según AECVE, el umbral de vuelco corresponde con la máxima aceleración lateral que puede soportar el vehículo antes de volcar, calculado como sigue.

$$a_{ymáx}|_A = g \cdot \left(\frac{B}{2 \cdot (h_1 + h_2)} - \phi_L \right)$$

$$a_{ymáx}|_B = g \cdot \left(\frac{B}{2 \cdot (h_1 + h_2)} \right)$$

Siendo:

$$h_1 + h_2 = h$$

De tal modo que el verdadero umbral de vuelco se encuentra entre los dos límites anteriores.

3.3.5. TRANSFERENCIA DE CARGA LATERAL

Teniendo en cuenta los apartados de dinámica lateral anteriores, al producirse balanceo, el reparto de cargas entre ruedas de un mismo eje se desvía del 50%/50%. Así, decimos que se produce una transferencia de carga lateral desde las ruedas que pierden adherencia hacia las ruedas que la ganan.

Al tomar una curva, el vehículo sufre una fuerza lateral (derivada de la fuerza centrífuga) aplicable a cada eje. Esta fuerza depende de la localización del CDG, de la altura del eje de balanceo y de la distribución de rigideces de balanceo en los ejes. La aparición de dicha fuerza resulta en un momento de balanceo que resta carga a las ruedas interiores y la transfiere a las ruedas exteriores.

Aunque al tomar una curva, la velocidad del vehículo es uno de los parámetros más influyentes, en este cálculo se considera el sistema en estática, analizando sólo los efectos del momento de vuelco derivados de una fuerza lateral aplicada. Puede considerarse como una primera aproximación de la transferencia de carga real que surge de las ruedas interiores a las ruedas exteriores.

Dicha transferencia es superposición de tres efectos distintos.

1. Transferencia debida al balanceo.
2. Transferencia debida a la masa suspendida de cada eje.
3. Transferencia debida a la masa no suspendida de cada eje.

Además, interesa diferenciar por separado la transferencia lateral en las ruedas delanteras y en las ruedas traseras. De este modo, las distintas transferencias según los tres efectos numerados antes son los siguientes.

En las ruedas delanteras:

$$1. \Delta F_{z\phi d} = \frac{K_{\phi d}}{B_d} \cdot \frac{m_s \cdot a_y \cdot r_1}{K_{\phi d} + K_{\phi t} - m_s \cdot g \cdot r_1}$$

$$2. \Delta F_{zmsd} = \frac{m_{sd} \cdot a_y \cdot h_d}{B_d}$$

$$3. \Delta F_{zmnsd} = \frac{m_{nsd} \cdot a_y \cdot h_1}{B_d}$$

En las ruedas traseras:

$$1. \Delta F_{z\phi t} = \frac{K_{\phi t}}{B_t} \cdot \frac{m_s \cdot a_y \cdot r_1}{K_{\phi l} + K_{\phi t} - m_s \cdot g \cdot r_1}$$

$$2. \Delta F_{zmst} = \frac{m_{st} \cdot a_y \cdot h_t}{B_t}$$

$$3. \Delta F_{zmnst} = \frac{m_{nst} \cdot a_y \cdot h_2}{B_t}$$

De modo que la transferencia total en cada uno de los ejes será la suma de los tres efectos correspondientes, resultando en las dos expresiones finales siguientes.

$$\Delta F_d = \frac{a_y}{B_d} \cdot \left(\frac{m_s \cdot K_{\phi l} \cdot r_1}{K_{\phi l} + K_{\phi t} - m_s \cdot g \cdot r_1} + m_{sd} \cdot h_d + m_{nsd} \cdot h_1 \right)$$

$$\Delta F_t = \frac{a_y}{B_t} \cdot \left(\frac{m_s \cdot K_{\phi t} \cdot r_1}{K_{\phi l} + K_{\phi t} - m_s \cdot g \cdot r_1} + m_{st} \cdot h_t + m_{nst} \cdot h_2 \right)$$

Esta transferencia de carga no sólo es perjudicial por perderse adherencia en las ruedas interiores. La consecuencia más grave es la disminución de la rigidez de deriva del par de neumáticos de un mismo eje, lo cual implica un aumento de deriva. Si este aumento es más acusado en las ruedas delanteras, hace al vehículo más subvirador; si este aumento es más acusado en las ruedas traseras, hace al vehículo más sobrevirador.

Cálculo de r_1 :

Para calcular esta longitud, se tienen que realizar unos simples cálculos geométricos. Primero, para visualizar las acotaciones necesarias, ver la Ilustración 3-1.

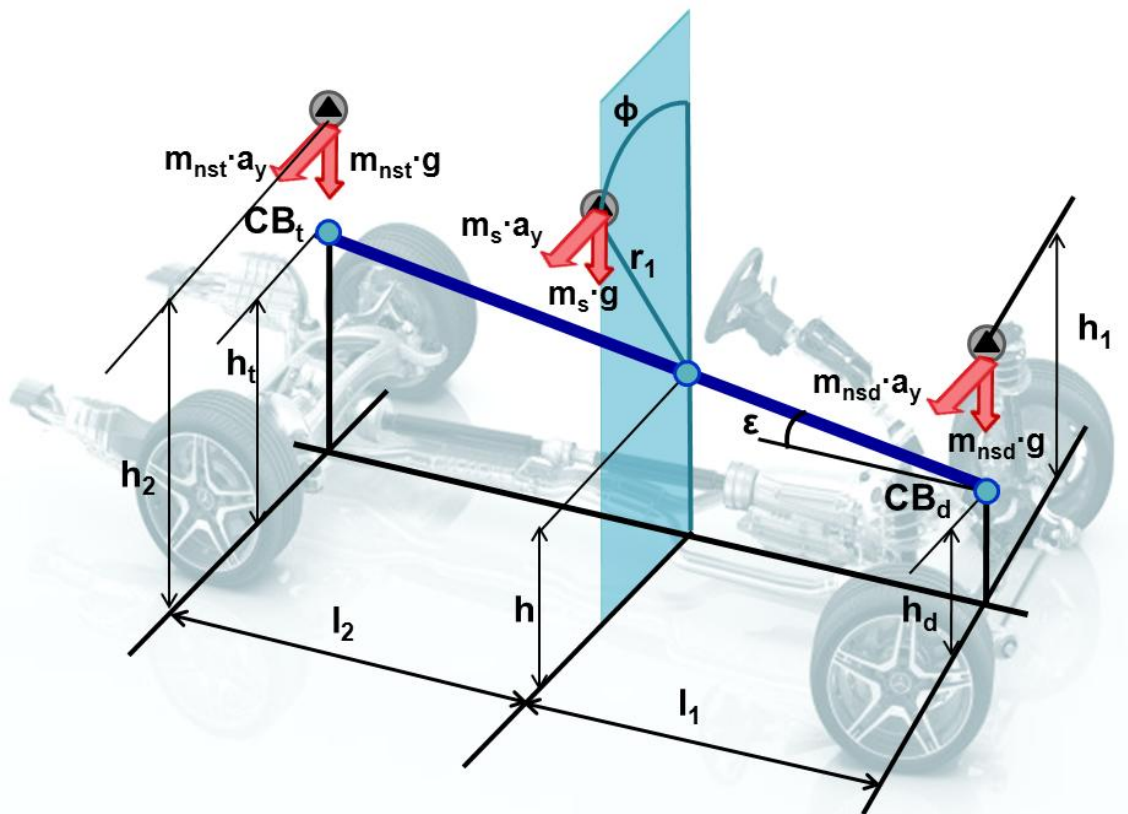


Ilustración 3-1. Distancias implicadas en el cálculo de la transferencia de carga lateral

Se puede suponer que el ángulo ϕ de la Ilustración 3-1 es lo suficientemente pequeño como para considerar que la proyección de r_1 sobre el plano de simetría del vehículo es igual a r_1 . Así, para calcular r_1 , tengamos en cuenta la Ilustración 3-2.

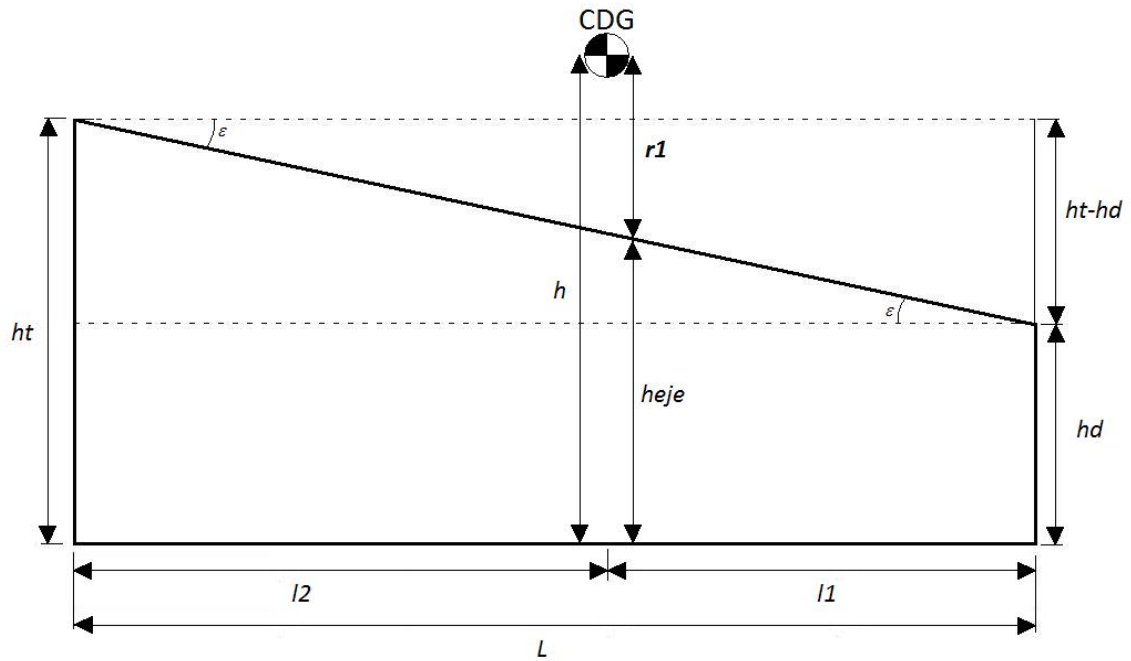


Ilustración 3-2. Cotas implicadas en el cálculo de r_1

Por lo tanto, tendremos las siguientes igualdades.

$$h_{eje} = h_d + l_1 \cdot \operatorname{tg} \varepsilon$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{h_t - h_d}{L}$$

$$r_1 = h - h_{eje}$$

Sustituyendo las dos primeras en la tercera, tendremos:

$$r_1 = h - h_d - \frac{l_1}{L} \cdot (h_t - h_d)$$



Capítulo 4

Análisis dinámico de un vehículo automóvil

4.1. INTRODUCCIÓN

El programa “Análisis dinámico de un vehículo automóvil” funciona a través de ventanas, llamadas *figures* (figuras) en GUIDE, que desaparecen al hacer clic en un determinado botón, dando salida a una nueva ventana. Cada ventana se asocia a una GUI, pues ésta contiene su correspondiente archivo *.fig* y su archivo *.m*. Este procedimiento es de uso común en la programación en GUIDE, aunque suele estar acompañado de ventanas estáticas, donde son los objetos los que aparecen y desaparecen sin salir de la misma GUI. Se ha evitado este segundo recurso, precisamente porque uno de los objetivos de este PFC es que el programa sea fácilmente manipulable por otros usuarios. De este modo, se puede incluir o eliminar una función o un cálculo con mucha más agilidad, eliminando o añadiendo una ventana con tan solo añadir las *callbacks* (llamadas) correctas, en vez de modificar todos los objetos de la GUI.

Debido a lo anterior, el programa es lineal en su ejecución. De este modo, el usuario puede utilizarlo mientras se le guía a través del mismo. Se parte de una pantalla de inicio y, a través de botones de acción, se va avanzando o retrocediendo, rellenando los campos que el programa pide en cada paso. En cualquier momento se puede volver a la pantalla anterior o al menú principal. El usuario sólo tiene que abrir la aplicación e interactuar con la misma haciendo clic en los botones y rellenando las casillas pedidas. No es necesario ningún conocimiento previo de MatLab.

Esta linealidad en el uso tiene también una razón didáctica. Se ha considerado que, al ver de forma segmentada y secuencial cada cálculo, le resulta más sencillo al usuario visualizar cuál es el proceso a seguir al realizar un análisis dinámico como el que se presenta. El procedimiento opuesto habría sido una única GUI, donde al ir introduciendo datos, fuesen apareciendo los resultados en la misma ventana. Con este último método, el usuario no memoriza tan claramente los pasos necesarios, al no verse obligado a seguir una secuencia muy diferenciada.

Por otra parte, el programa se divide en tres diferentes secciones: Dinámica longitudinal: tracción, Dinámica longitudinal: frenado y Dinámica lateral. Cada una de las secciones engloba diferentes prestaciones a calcular. Además, algunos resultados obtenidos son datos de entrada para otro cálculo diferente. Así, el usuario puede aprender el camino de análisis habitual en la asignatura. Se insiste en que el programa desarrollado no tiene como fin realizar un análisis real de un automóvil, sino que está enfocado a la docencia, y en particular a la desarrollada en la UC3M. Por ello, el camino de resolución que propone la aplicación es análogo con el que debería realizar el alumno al enfrentarse a un problema de análisis dinámico de un automóvil.

4.2. ARQUITECTURA DE LA APLICACIÓN

En este apartado se muestra gráficamente la estructura global del programa. Se han diseñado los siguientes esquemas y grafismos para comprender el funcionamiento de la aplicación. En la Ilustración 4-1 se muestra un esquema genérico de los cálculos que permite obtener la aplicación, tal y como se explicó en el Capítulo 3.

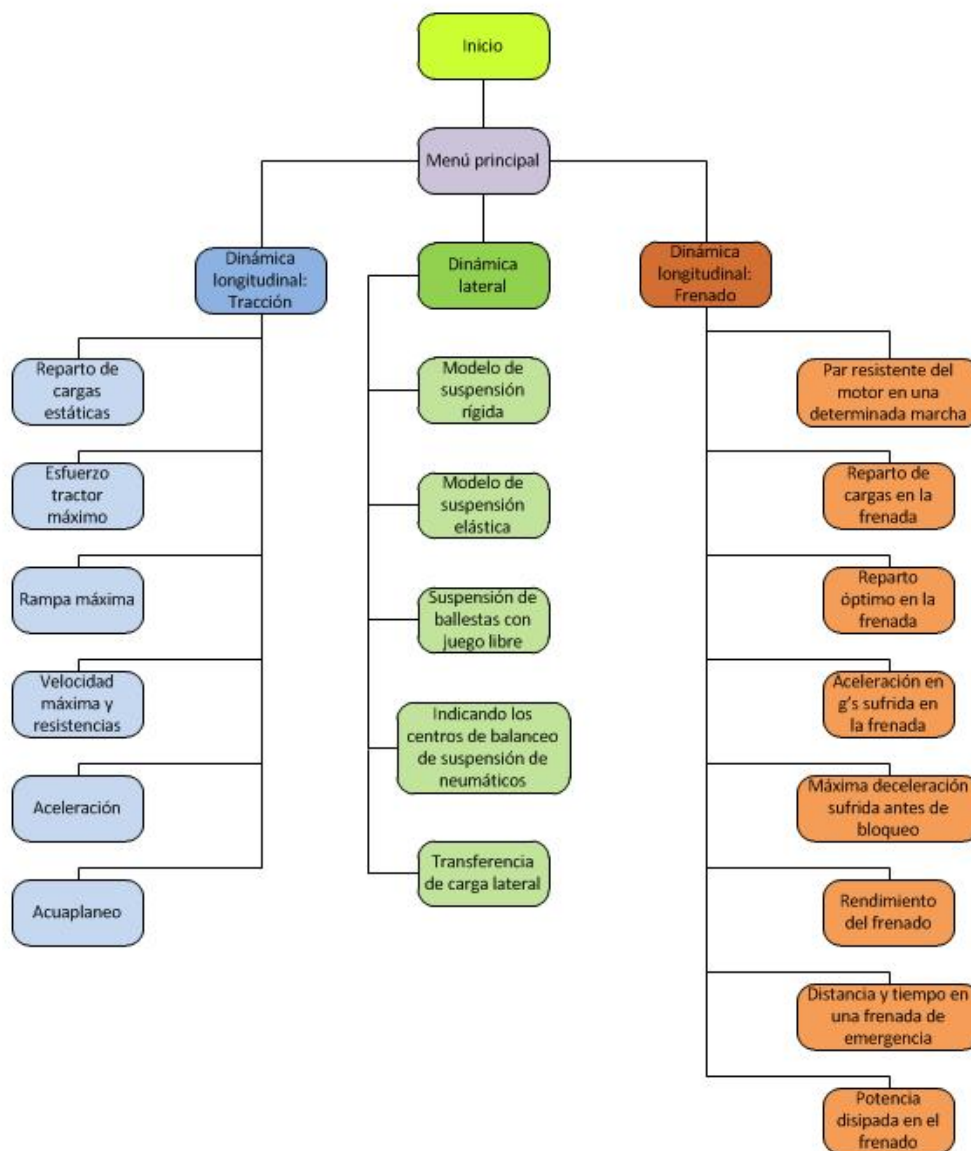


Ilustración 4-1. Esquema de los cálculos que permite realizar el programa

La aplicación, al estar dividida en 43 GUIs, debe entenderse según la relación entre las mismas, ya que, como se ha explicado anteriormente, al interactuar con los botones de la aplicación, se cierra la GUI presente y se abre otra nueva. El conjunto de figuras Ilustración 4-2, Ilustración 4-3, Ilustración 4-4 y Ilustración 4-5, muestra esquemáticamente cómo las GUIs del programa están conectadas. El sentido de las flechas indica si se puede ir de una GUI a otra. Por otro lado, todos los nombres mostrados se corresponden con los nombres de las GUIs en la aplicación.

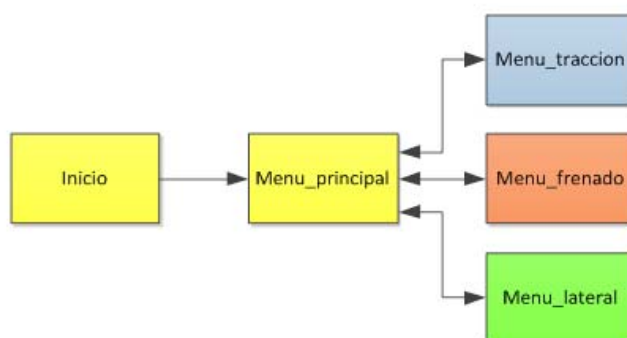


Ilustración 4-2. Relación entre GUIs. Menús e Inicio.

Como se puede ver en la Ilustración 4-2, de la GUI “*Inicio*” se puede acceder a la GUI “*Menu_principal*”, pero no al revés. Es importante percatarse de la información que aportan estas flechas para entender, gracias al apartado 4.4, los caminos que permite seguir la aplicación.

El programa no finaliza en las GUIs *Menu_traccion*, *Menu_frenado* y *Menu_lateral*, sino que su despliegue se muestra en las siguientes imágenes por claridad.

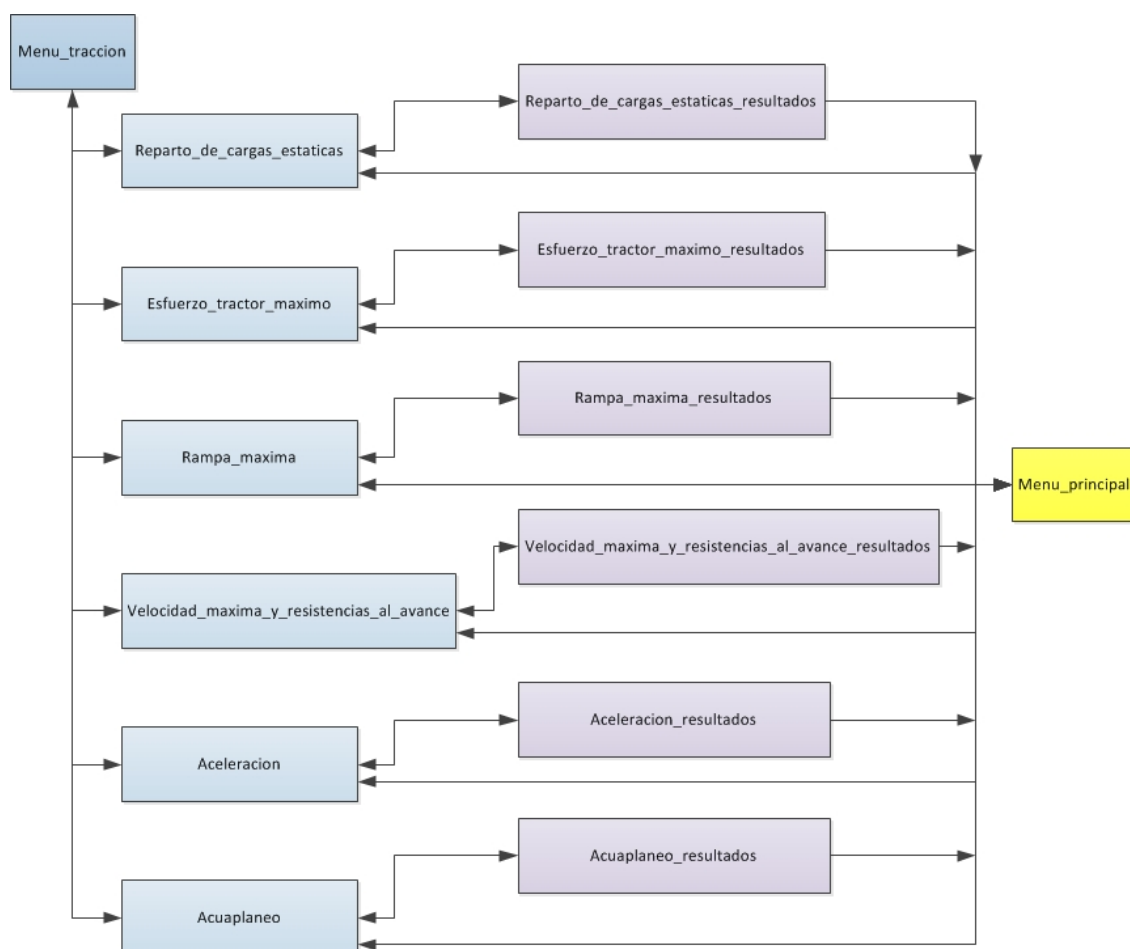


Ilustración 4-3. Relación entre GUIs correspondientes al análisis de tracción

Nótese como desde cualquier GUI se puede acceder a *Menu_principal*. En la práctica, el usuario verá un botón inferior sobre el que puede hacer clic en todo momento.

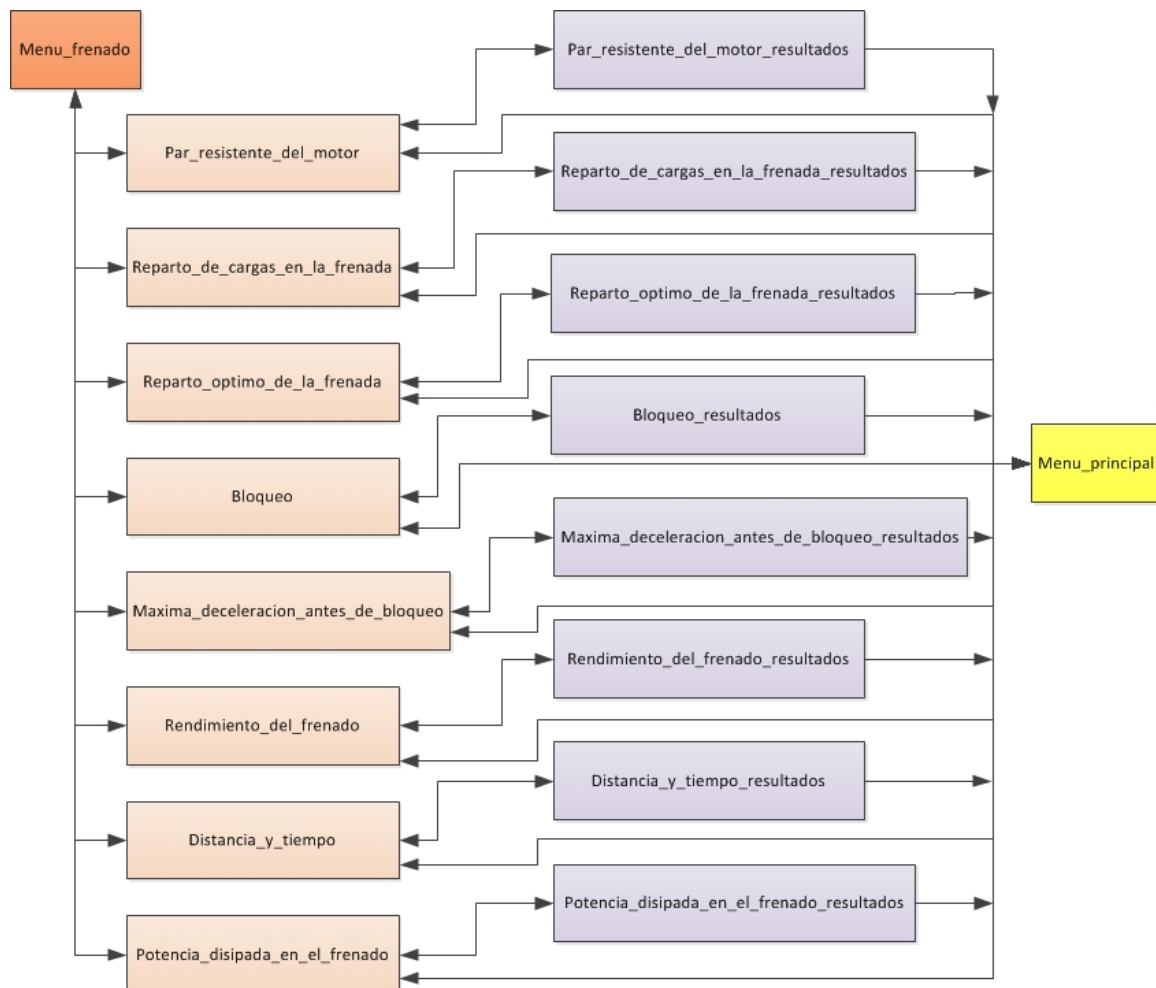


Ilustración 4-4. Relación entre GUIs correspondientes al análisis de frenado

Los caminos de interacción de las GUIs del análisis del frenado y el análisis lateral son análogos al del análisis de la tracción.

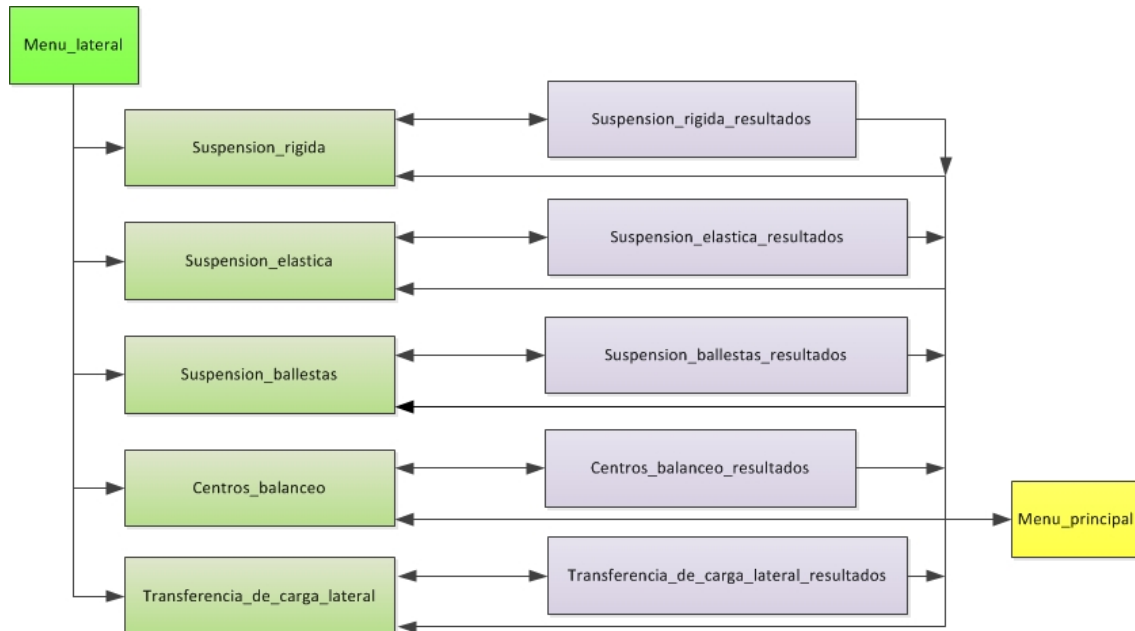


Ilustración 4-5. Relación entre GUIs correspondientes al análisis lateral

4.3. MENÚ DE AYUDA

En esta sección se describe el menú superior de ayuda, creado a partir de la herramienta *Menu Editor*. En la Ilustración 4-6 se puede ver el despliegue de dicho menú al hacer clic en la pestaña “Ayuda”.

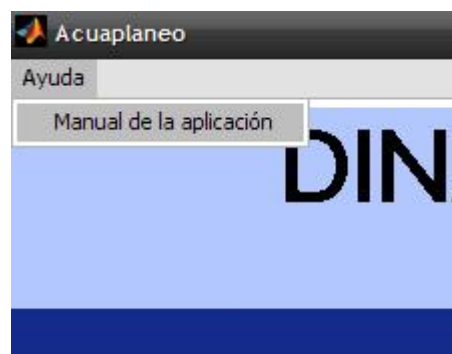


Ilustración 4-6. Detalle del menú de ayuda en la GUI *Acuaplaneo*

Al hacer clic en el botón “Manual de la aplicación”, se abre un archivo *.pdf* que sirve de manual de la aplicación desarrollada, donde el usuario puede obtener información relevante sobre la manipulación de la misma. Dicho archivo viene descrito en el apartado 9.1 del presente documento.

Este menú superior está presente en cada una de las GUIs. Para incluirlo, se tuvo que programar independientemente en cada una. Como se puede ver en la Ilustración 4-7, al crear el menú se pueden añadir tantos campos como se deseen.

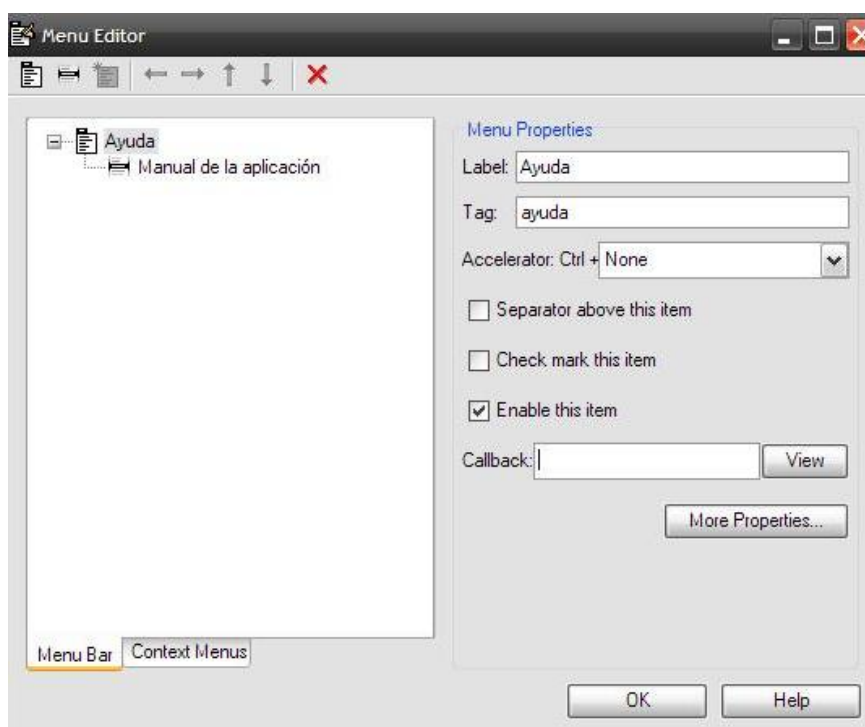


Ilustración 4-7. Captura de pantalla del Menu Editor

Y además, al situarse en el submenú “Manual de la aplicación”, a través del callback, se debe introducir en este caso la siguiente línea en el código de la GUI.

```
winopen('Manual_de_la_aplicación.pdf')
```

4.4. DESCRIPCIÓN DE CADA MÓDULO

En este apartado se documenta independientemente cada GUI de la aplicación. Cada GUI está formada por, tal y como se explica en el apartado 2.5, un archivo *.m* que contiene el código del programa y un entorno gráfico *.fig* asociado a dicho código, que permite la interacción con los objetos.

Para cada GUI, se muestra una captura de pantalla de la figura y se explica brevemente la función de cada botón de acción, cuadro de texto editable u otro elemento relevante. Una descripción más detallada de cada objeto se encuentra en el manual de usuario del apartado 9.1.

Cabe decir en este punto que en este documento no se expone la programación de la aplicación, es decir, las líneas de código de los archivos *.m*. Al confeccionarse el programa para uso interno de la UC3M, el código escrito es propiedad de la misma, mientras que el presente documento es de acceso público. Se ha realizado, sin embargo, un manual de referencia que acompaña a la aplicación (Ver [11] de la Bibliografía). Este manual es similar a un manual de programación y contiene todo lo necesario para comprender el código del programa y manipularlo. Entre la información que contiene, se incluye todo el código relevante de las 43 GUIs que forman el programa. Considérese dicho documento como una ampliación del apartado 9.2 del presente documento.

La nomenclatura que sigue este apartado es consistente con el nombre de cada GUI del programa. En general, estos nombres son fácilmente identificables con su función dentro del análisis y, cuando corresponda, tienen referenciado el cálculo pertinente del Capítulo 3. Nótese que los nombres de cada GUI no incluyen signos de puntuación o espacios (estos se sustituyen por guiones bajos).

4.4.1. INICIO

La Ilustración 4-8 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-8. Captura de pantalla de la GUI *Inicio*

Esta pantalla es meramente informativa y de presentación.

El único objeto destacable de esta GUI es el siguiente.

Comenzar

Al pulsarlo se comienza a usar el programa. Una vez pulsado no se puede volver a esta GUI durante la ejecución de la aplicación.

4.4.2. MENU_PRINCIPAL

La Ilustración 4-9 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.

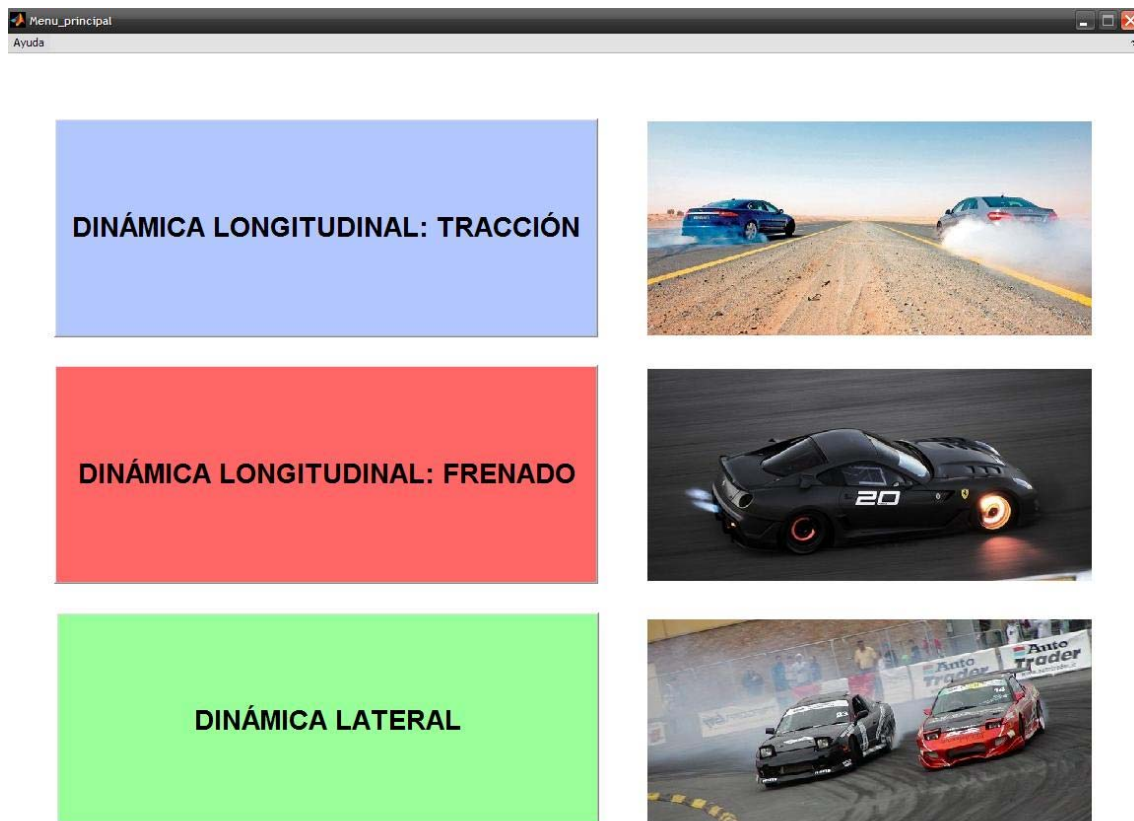


Ilustración 4-9. Captura de pantalla de la GUI *Menu_principal*

En esta ventana se muestran los tres tipos de análisis que se pueden realizar. Se puede volver a esta pantalla en cualquier momento.

Los objetos más importantes son los siguientes.

Dinámica longitudinal: tracción

Al pulsar este botón se accede al menú del mismo nombre.

Dinámica longitudinal: frenado

Al pulsar este botón se accede al menú del mismo nombre.

Dinámica lateral

Al pulsar este botón se accede al menú del mismo nombre.

4.4.3. MENU_TRACCION

La Ilustración 4-10 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-10. Captura de pantalla de la GUI *Menu_traccion*

En esta ventana se muestran los diferentes cálculos que se pueden realizar para el análisis de la tracción. Los botones están ordenados según se considera que un análisis debe llevarse a cabo, aunque no es totalmente necesario.

Los objetos más importantes son los siguientes.



Reparto de cargas estáticas

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Esfuerzo tractor máximo

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Rampa máxima

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Velocidad máxima y resistencias al avance

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Aceleración

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Acuaplaneo

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.4. MENU_FRENADO

La Ilustración 4-11 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-11. Captura de pantalla de la GUI *Menu_frenado*

En esta ventana se muestran los diferentes cálculos que se pueden realizar para el análisis del frenado. Los botones están ordenados según se considera que un análisis debe llevarse a cabo, aunque no es totalmente necesario.

Los objetos más importantes son los siguientes.

Par resistente del motor en una determinada marcha

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Reparto de cargas en la frenada



Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Reparto óptimo en la frenada

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Bloqueo en las ruedas

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Máxima deceleración posible antes de bloqueo

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Rendimiento del frenado

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Distancia y tiempo en una frenada de emergencia

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Potencia disipada en el frenado

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.5. MENU_LATERAL

La Ilustración 4-12 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-12. Captura de pantalla de la GUI *Menu_lateral*

En esta ventana se muestran los diferentes cálculos que se pueden realizar para el análisis de dinámica lateral. Las cinco opciones están diferenciadas en dos grupos. Los primeros cuatro botones corresponden a distintos modelos de suspensión del vehículo, pero todos permiten obtener la máxima aceleración lateral antes de vuelco. El último apartado corresponde a un cálculo de transferencia de carga a partir de dicha aceleración.

Los objetos más importantes son los siguientes.

Modelo de suspensión rígida



Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Modelo de suspensión elástica

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Modelo de ballestas con juego libre

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Indicando los centros de balanceo de suspensión de neumáticos

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Transferencia de carga lateral debida al balanceo

Se accede a la ventana de introducción de datos de dicho cálculo.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.6. REPARTO_DE_CARGAS_ESTATICAS

La Ilustración 4-13 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.

Peso (kg)

Batalla (m)

Si dispones de las fuerzas estáticas en cada eje:

Fzd (N)

Fzt (N)

Si dispones del reparto de fuerzas:

Fzd (%) (%)

Fzt (%) (%)

Atrás **Volver al Menú Principal** **Calcular**

The diagram shows a vehicle on an inclined plane with angle θ . Forces acting on the vehicle include F_{za} (vertical), F_{xa} (horizontal), M_{ya} (moment), F_t (traction), F_{zd} (normal force at front), F_{zt} (normal force at rear), F_d (drag), and F_{zd} (normal force at rear). Distances l_1 , l_2 , and L are indicated, along with heights h and d_r , and angles $\dot{\Omega}_t$ and $\dot{\Omega}_d$.

Ilustración 4-13. Captura de pantalla de la GUI *Reparto_de_cargas_estaticas*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Peso** Peso total del vehículo.
- **Batalla** Distancia entre ejes del vehículo.
- **Fzd** Reacción normal a la superficie de rodadura en el eje delantero.
- **Fzt** Reacción normal a la superficie de rodadura en el eje trasero.



- **Fzd(%)** Porcentaje de carga estática en el eje delantero.
- **Fzt(%)** Porcentaje de carga estática en el eje trasero.

Atrás

Se vuelve al menú de tracción.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.7. REPARTO_DE_CARGAS_ESTATICAS_RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.1.1.

La Ilustración 4-14 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-14. Captura de pantalla de la GUI *Reparto_de_cargas_estaticas_resultados*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **l1** Distancia entre el CDG y el eje delantero.
- **l2** Distancia entre el CDG y el eje trasero.

Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.8. ESFUERZO_TRACTOR_MAXIMO

La Ilustración 4-15 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



The screenshot shows a web application window titled 'Esfuerzo tractor maximo'. The main heading is 'DINÁMICA LONGITUDINAL: TRACCIÓN' with a subtitle 'Esfuerzo tractor máximo'. The interface includes several input fields for vehicle parameters, a central image of a Toyota Formula 1 car, and a 'Calcular' button.

Peso	<input type="text"/>	(kg)	Rendimiento motor	<input type="text"/>	(%)
Coeficiente	<input type="text"/>	()	Rendimiento transmisión	<input type="text"/>	(%)
Adherencia	<input type="text"/>	()	Radio bajo carga	<input type="text"/>	(m)
Batalla	<input type="text"/>	(m)			
l1	<input type="text"/>	(m)			
l2	<input type="text"/>	(m)			
h	<input type="text"/>	(m)			
Relación transmisión	<input type="text"/>	()	Tipo de tracción:	<input type="text" value="Delantera"/>	
Par máximo	<input type="text"/>	(Nm)			

At the bottom, there are three buttons: 'Atrás', 'Volver al Menú Principal', and a large yellow 'Calcular' button.

Ilustración 4-15. Captura de pantalla de la GUI *Esfuerzo_tractor_maximo*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Peso** Peso total del vehículo.
- **Coeficiente** Coeficiente de resistencia a la rodadura.
- **Adherencia** Adherencia neumático-calzada.



- **Batalla** Distancia entre ejes del vehículo
- **I1** Distancia entre el CDG y el eje delantero. Dato de entrada que se obtiene de resultado del cálculo anterior.
- **I2** Distancia entre el CDG y el eje delantero. Dato de entrada que se obtiene de resultado del cálculo anterior.
- **h** Altura del CDG.
- **Rel. transmisión** Relación global de la transmisión en primera velocidad.
- **Par máximo** Par máximo a la salida del motor.
- **Rend. motor** Rendimiento del motor.
- **Rend. trans.** Rendimiento de la transmisión.
- **Radio bajo carga** Radio del neumático cuando el vehículo tiene un peso total igual al introducido.
- **Tipo de tracción** Tracción del vehículo, que puede ser delantera, trasera o a las cuatro ruedas. Se despliega un menú en el que se puede elegir una de las tres opciones.

Atrás

Se vuelve al menú de tracción.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.9. ESFUERZO_TRACTOR_MAXIMO_RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.1.2.

La Ilustración 4-16 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-16. Captura de pantalla de la GUI *Esfuerzo_tractor_maximo_resultados*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Ft** Esfuerzo tractor máximo.

Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.10. RAMPA_MAXIMA

La Ilustración 4-17 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



F_t	<input type="text"/>	(N)
P	<input type="text"/>	(kg)
fr	<input type="text"/>	()



Ilustración 4-17. Captura de pantalla de la GUI *Rampa_maxima*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **F_t** Esfuerzo tractor máximo. Se puede asumir que es igual al obtenido en el cálculo anterior.
- **P** Peso total del vehículo.
- **fr** Coeficiente de resistencia a la rodadura.

Atrás

Se vuelve al menú de tracción.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.11. RAMPA_MAXIMA_RESULTADOS

La Ilustración 4-18 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-18. Captura de pantalla de la GUI *Rampa_maxima_resultados*



Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.1.3.

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Rampa máxima** Rampa máxima que puede subir el vehículo. Indica los metros verticales que puede subir por cada 100 metros horizontales recorridos.

Atrás

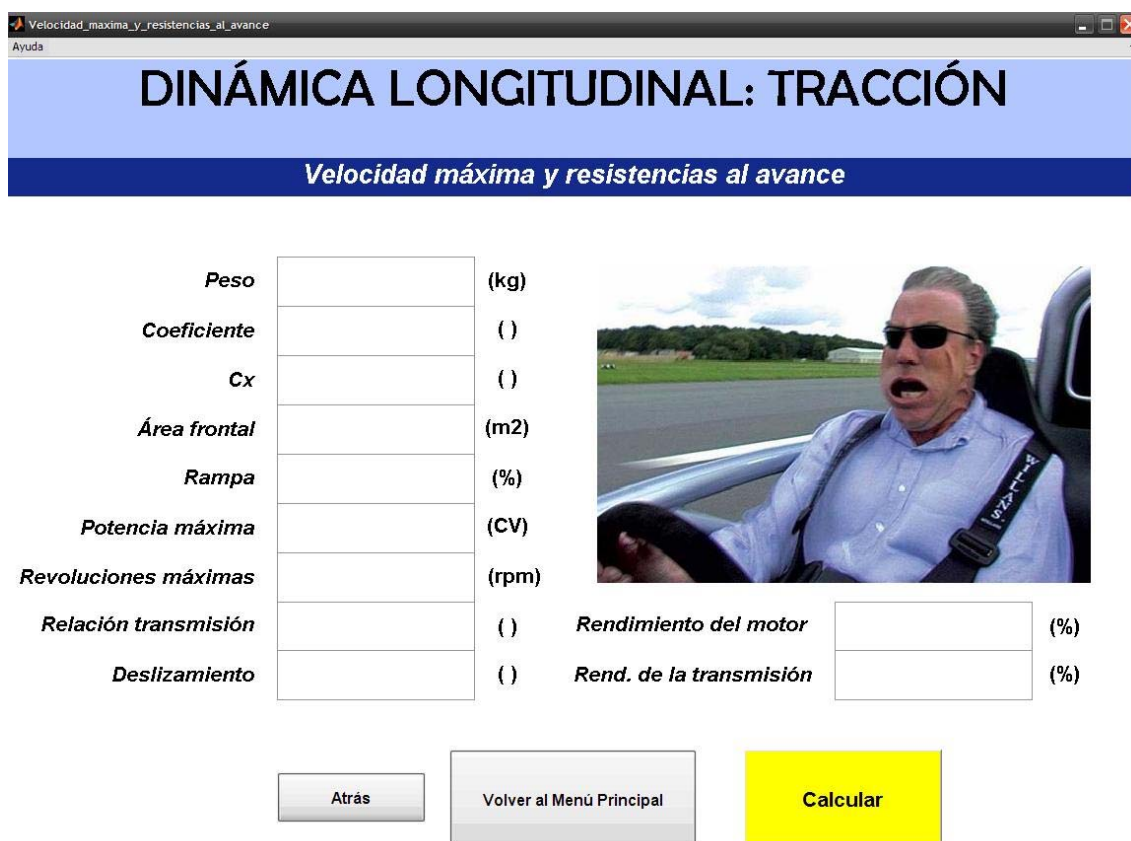
Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.12. VELOCIDAD_MAXIMA_Y_RESISTENCIAS_AL_AVANCE

La Ilustración 4-19 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



DINÁMICA LONGITUDINAL: TRACCIÓN

Velocidad máxima y resistencias al avance

Peso	<input type="text"/>	(kg)
Coeficiente	<input type="text"/>	()
Cx	<input type="text"/>	()
Área frontal	<input type="text"/>	(m2)
Rampa	<input type="text"/>	(%)
Potencia máxima	<input type="text"/>	(CV)
Revoluciones máximas	<input type="text"/>	(rpm)
Relación transmisión	<input type="text"/>	()
Deslizamiento	<input type="text"/>	()

Rendimiento del motor (%)

Rend. de la transmisión (%)

Calcular

Ilustración 4-19. Captura de pantalla de la GUI
Velocidad_maxima_y_resistencias_al_avance

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Peso** Peso total del vehículo.
- **Coeficiente** Coeficiente de resistencia a la rodadura.
- **Cx** Coeficiente aerodinámico de resistencia al avance.
- **Área frontal** Área frontal del vehículo.
- **Rampa** Rampa de la calzada.



- **Potencia máx.** Potencia máxima que puede desarrollar el vehículo.
- **Revol. Máx.** Revoluciones del motor a la potencia máxima.
- **Rel. transmisión** Relación global de la transmisión en directa.
- **Deslizamiento** Deslizamiento longitudinal del neumático.
- **Rend. motor** Rendimiento del motor.
- **Rend. Trans.** Rendimiento de la transmisión.

Atrás

Se vuelve al menú de tracción.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.13. VELOCIDAD_MAXIMA_Y_RESISTENCIAS_AL_AVANCE_RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.1.4.¹⁶

La Ilustración 4-20 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-20. . Captura de pantalla de la GUI
Velocidad_maxima_y_resistencias_al_avance_resultados

Los objetos más importantes son los siguientes.

¹⁶ En el cálculo, la densidad del aire se asume constante e igual a $\rho = 1.225 \text{ kg} / \text{m}^3$.



- **Velocidad máx.** Velocidad máxima que puede alcanzar el vehículo.
- **Res. aerodin.** Resistencia aerodinámica sobre el vehículo cuando circula a máxima velocidad.
- **Res. rodadura** Resistencia a la rodadura sobre el vehículo cuando circula a máxima velocidad.
- **Res. gravitatoria** Resistencia gravitatoria sobre el vehículo cuando circula a máxima velocidad.

Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.14. ACELERACION

La Ilustración 4-21 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Peso	<input type="text"/>	(kg)
Ft	<input type="text"/>	(N)
Resistencia	<input type="text"/>	(N)
Masas rotativas	<input type="text"/>	()

Atrás Volver al Menú Principal Calcular

Ilustración 4-21. Captura de pantalla de la GUI *Aceleracion*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Peso** Peso total del vehículo.
- **Ft** Esfuerzo tractor máximo. Se puede asumir que es igual al obtenido en el cálculo correspondiente.
- **Resistencia** Resistencia total al avance a baja velocidad. Al usuario no se le advierte directamente, y puede errar al introducir como dato la suma



de resistencias del cálculo anterior. Nótese que las resistencias obtenidas anteriormente como resultado, corresponden a velocidad máxima. Se prefiere mantener esta situación debido a su valor didáctico.

- **Masas rotativas** Factor de masa equivalente de masas rotativas.

Atrás

Se vuelve al menú de tracción.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.15. ACELERACION_RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.1.5.

La Ilustración 4-22 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-22. Captura de pantalla de la GUI *Aceleracion_resultados*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Aceleración** Máxima aceleración disponible a baja velocidad.

Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.16. ACUAPLANEO

La Ilustración 4-23 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-23. Captura de pantalla de la GUI *Acuplaneo*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Presión** Presión de inflado de los neumáticos.

Atrás

Se vuelve al menú de tracción.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.17. ACUAPLANEO_RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.1.6.

La Ilustración 4-24 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-24. Captura de pantalla de la GUI *Acuplaneo_resultados*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Vel. transición** Velocidad de transición del acuaplaneo.
- **Vel. hidroplaneo** Velocidad del acuaplaneo.

Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.18. PAR_RESISTENTE_DEL_MOTOR

La Ilustración 4-25 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Par resistente del motor

Ayuda

DINÁMICA LONGITUDINAL: FRENADO

Par resistente del motor en una determinada marcha

Mc	<input type="text"/>	(Nm)
Relación	<input type="text"/>	()
Rendimiento	<input type="text"/>	(%)



Atrás

Volver al Menú Principal

Calcular

Ilustración 4-25. Captura de pantalla de la GUI *Par_resistente_del_motor*



Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Mc** Par a la salida del motor.
- **Relación** Relación global de la transmisión para el escalonamiento j .
- **Rendimiento** Rendimiento de la transmisión.

Atrás

Se vuelve al menú de frenado.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.19. PAR_RESISTENTE_DEL_MOTOR_RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.2.1.

La Ilustración 4-26 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-26. Captura de pantalla de la GUI *Par_resistente_del_motor_resultados*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Par resistente** Par de frenado del motor con la marcha escogida.

Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.20. REPARTO_DE_CARGAS_EN_LA_FRENADA

La Ilustración 4-27 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



The screenshot shows a web application window titled 'Reparto_de_cargas_en_la_frenada'. The main heading is 'DINÁMICA LONGITUDINAL: FRENADO' in a red banner, with the subtitle 'Reparto de cargas en la frenada' below it. On the left, there is a form with the following labels and units:

Peso	<input type="text"/>	(kg)
Coeficiente	<input type="text"/>	()
Batalla	<input type="text"/>	(m)
Adherencia	<input type="text"/>	()
l_1	<input type="text"/>	(m)
l_2	<input type="text"/>	(m)
h	<input type="text"/>	(m)

To the right of the form is an image of a Red Bull Formula 1 car on a track. At the bottom, there are three buttons: 'Atrás', 'Volver al Menú Principal', and a yellow 'Calcular' button.

Ilustración 4-27. Captura de pantalla de la GUI *Reparto_de_cargas_en_la_frenada*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Peso** Peso total del vehículo.
- **Coeficiente** Coeficiente de resistencia a la rodadura.
- **Batalla** Distancia entre ejes del vehículo
- **Adherencia** Adherencia neumático-calzada.



- **l1** Distancia entre el CDG y el eje delantero. Se obtiene en el análisis de la tracción.
- **l2** Distancia entre el CDG y el eje delantero. Se obtiene en el análisis de la tracción.
- **h** Altura del CDG.

Atrás

Se vuelve al menú de frenado.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.21. REPARTO DE CARGAS EN LA FRENADA RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.2.2.

La Ilustración 4-28 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.

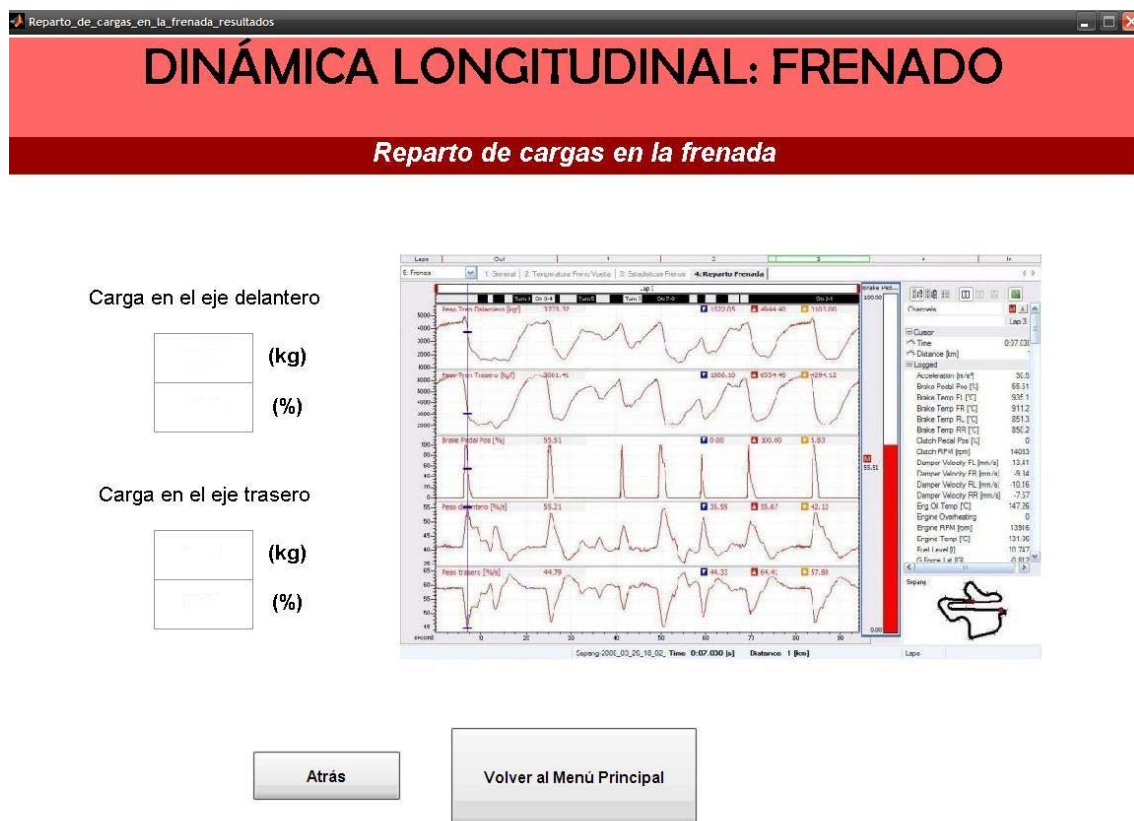


Ilustración 4-28. Captura de pantalla de la GUI

Reperto de cargas en la frenada resultados

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Carga delantera** Reacción normal a la superficie de rodadura en el eje delantero.

Porcentaje de carga en el eje delantero.



- **Carga trasera** Reacción normal a la superficie de rodadura en el eje trasero.

Porcentaje de carga en el eje trasero.

Como se puede observar, esta GUI se ha programado para que muestre el reparto también en porcentaje. De este modo, los resultados obtenidos deben ser iguales a los proporcionados por la GUI definida en 4.4.23. Ver el citado apartado para una explicación más profunda.

Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.22. REPARTO_OPTIMO_DE_LA_FRENADA

La Ilustración 4-29 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



The screenshot shows a software window titled 'Reparto_optimo_de_la_frenada' with a red header bar containing the text 'DINÁMICA LONGITUDINAL: FRENADO' and 'Reparto óptimo de la frenada'. Below the header, there is a table of input fields:

Coeficiente		()
Adherencia		()
$l1$		(m)
$l2$		(m)
h		(m)

To the right of the table is an image of a car's front wheel with orange brake discs. Below the table and image are three buttons: 'Atrás', 'Volver al Menú Principal', and 'Calcular'.

Ilustración 4-29. Captura de pantalla de la GUI *Reparto_optimo_de_la_frenada*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Coeficiente** Coeficiente de resistencia a la rodadura.
- **Adherencia** Adherencia neumático-calzada.
- **$l1$** Distancia entre el CDG y el eje delantero. Se obtiene en el análisis de la tracción.
- **$l2$** Distancia entre el CDG y el eje delantero. Se obtiene en el análisis de la tracción.

- **h** Altura del CDG.

Atrás

Se vuelve al menú de frenado.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.23. REPARTO_OPTIMO_DE_LA_FRENADA_RESULTADOS

La Ilustración 4-30 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-30. Captura de pantalla de la GUI

Reparto_optimo_de_la_frenada_resultados



Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.2.3.

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Ruedas delant.** Porcentaje de carga en el eje delantero.
- **Ruedas traseras** Porcentaje de carga en el eje trasero.

En efecto, tal y como se comenta en el apartado 4.4.21, el resultado obtenido en esta GUI tiene que ser el mismo que el de la GUI de dicho apartado, si se introducen los mismos valores de entrada. La razón estriba en que los cálculos tomados para esta prestación, tal y como se comenta en la teoría definida en el Capítulo 3, vienen de considerar el primer cálculo como el óptimo. Esta hipótesis se ha hecho por seguir la misma línea que la asignatura. En cualquier caso, se ha deseado plantear los dos cálculos por separado, para que el alumno se percate de este hecho. Si revisa la materia de la asignatura¹⁷, podrá ver que el reparto óptimo de la frenada se calcula a partir de las cargas delantera y trasera definidas en el apartado 3.2.2.

Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

¹⁷ Ver p. 297-300 de [1] en la Bibliografía.

4.4.24. BLOQUEO

La Ilustración 4-31 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



The screenshot shows a software window titled 'Bloqueo' with a red header bar containing the text 'DINÁMICA LONGITUDINAL: FRENADO' and 'Bloqueo de las ruedas'. Below the header, there are input fields for braking forces and a race car image.

Fuerza de frenado impuesta por el limitador de presión:

$F_{lim,d}$ (N)

$F_{lim,t}$ (N)

Reparto de las cargas en la frenada:

F_{zd} (N)

F_{zt} (N)

Adherencia ()



Ilustración 4-31. Captura de pantalla de la GUI *Bloqueo*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **$F_{lim,d}$** Fuerza de frenado en el eje delantero a la que actúa el limitador.
- **$F_{lim,t}$** Fuerza de frenado en el eje trasero a la que actúa el limitador.
- **F_{zd}** Reacción normal a la superficie de rodadura en el eje delantero. Se obtiene en el cálculo de reparto de cargas en la frenada.



- **Fzt** Reacción normal a la superficie de rodadura en el eje trasero. Se obtiene en el cálculo de reparto de cargas en la frenada.
- **Coeficiente** Coeficiente de resistencia a la rodadura.

Atrás

Se vuelve al menú de frenado.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.25. BLOQUEO_RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.2.4.

La Ilustración 4-32 corresponde a una captura de pantalla de la GUI, mostrando uno de los resultados posibles.



Ilustración 4-32. Captura de pantalla de la GUI *Bloqueo_resultados*

En esta ventana se muestran los distintos textos estáticos de resultado que se pueden mostrar. Los posibles cuatro textos son los siguientes.

- “*Bloquean las ruedas delanteras*” o “*No bloquean las ruedas delanteras*”.



- “***Bloquean las ruedas traseras***” o “***No bloquean las ruedas traseras***”.

Como se observa, en esta GUI los resultados a mostrar son diferentes a las GUIs anteriores. En la ventana se exponen dos textos, uno para las ruedas delanteras en la parte izquierda de la figura y otro para las ruedas traseras en la derecha. La cadena de caracteres a mostrar en cada uno de estos dos campos de texto es distinta según el resultado, pero en cualquier caso siempre aparecerán en pantalla. Como ejemplo, se ha mostrado una captura de pantalla que indica que en las condiciones especificadas a través de la GUI *Bloqueo*, las ruedas delanteras sí bloquean pero las traseras no. Así, según lo expuesto, en esta GUI se pueden mostrar cuatro tipo de resultados distintos.

Y del mismo modo que en las demás GUIs que muestran algún resultado, están los dos botones siguientes.

Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.26. MAXIMA_DECELERACION_ANTES_DE_BLOQUEO

La Ilustración 4-33 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



The screenshot shows a software window titled 'Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo' with a red header bar containing the text 'DINÁMICA LONGITUDINAL: FRENADO' and 'Máxima deceleración posible antes de bloqueo'. Below the header, there are input fields for various parameters:

Coeficiente	<input type="text"/>	()
Adherencia	<input type="text"/>	()
Batalla	<input type="text"/>	(m)
l_1	<input type="text"/>	(m)
l_2	<input type="text"/>	(m)
h	<input type="text"/>	(m)
K_{fd}	<input type="text"/>	(%)
K_{ft}	<input type="text"/>	(%)

To the right of the input fields is an image of a Lotus Formula 1 car on a track, with a large cloud of smoke or dust behind it. Below the input fields and image are three buttons: 'Atrás', 'Volver al Menú Principal', and 'Calcular'.

Ilustración 4-33. Captura de pantalla de la GUI *Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Coeficiente** Coeficiente de resistencia a la rodadura.
- **Adherencia** Adherencia neumático-calzada.
- **Batalla** Distancia entre ejes del vehículo.
- **l_1** Distancia entre el CDG y el eje delantero. Se obtiene en el análisis de la tracción.



- **l_2** Distancia entre el CDG y el eje delantero. Se obtiene en el análisis de la tracción.
- **h** Altura del CDG.
- **K_{fd}** Porcentaje de carga en el eje delantero.
- **K_{ft}** Porcentaje de carga en el eje trasero.

Atrás

Se vuelve al menú de frenado.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.27. MAXIMA_DECELERACION_ANTES_DE_BLOQUEO_RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.2.5.

La Ilustración 4-34 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-34. Captura de pantalla de la GUI
Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo_resultados

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Ruedas delanteras** Aceleración en g's en el eje delantero.
- **Ruedas traseras** Aceleración en g's en el eje trasero.

Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.28. RENDIMIENTO_DEL_FRENADO

La Ilustración 4-35 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-35. Captura de pantalla de la GUI *Rendimiento_del_frenado*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Adherencia** Adherencia neumático-calzada.

- **a máxima** Deceleración máxima permitida. Tal y como se comenta en el apartado 3.2.6, esta aceleración debe ser menor que 0.3 g's. Si se introduce un valor mayor, el programa advierte problemas de confort y seguridad, pero no se indica cual es el valor máximo permitido. Ver Ilustración 4-36.¹⁸



Ilustración 4-36. Mensaje de error al introducir un valor de aceleración mayor que 0.3 g's en la GUI *Rendimiento_del_frenado*

¹⁸ Todas las GUIs incluyen mensajes de error o advertencia si se introducen datos inaceptables, como caracteres alfabéticos en vez de numéricos, o valores fuera del rango aceptable de la variable, como por ejemplo, un peso negativo. Aunque cada caso es particular, tómese como ejemplo la Ilustración 4-36. No se incluyen capturas de pantalla de cada mensaje de error. Para entender cómo funcionan estos mensajes de error, consultar el manual de [11] de la Bibliografía.

Atrás

Se vuelve al menú de frenado.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.29. RENDIMIENTO_DEL_FRENADO_RESULTADOS

La Ilustración 4-37 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-37. Captura de pantalla de la GUI *Rendimiento_del_frenado_resultados*



Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.2.6.

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Rendimiento** Rendimiento del frenado.

Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.30. DISTANCIA_Y_TIEMPO

La Ilustración 4-38 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



DINÁMICA LONGITUDINAL: FRENADO
Distancia y tiempo en una frenada de emergencia

Peso	<input type="text"/>	(kg)	
Coeficiente	<input type="text"/>	()	
Adherencia	<input type="text"/>	()	
Cx	<input type="text"/>	()	
Área frontal	<input type="text"/>	(m2)	
Velocidad	<input type="text"/>	(km/h)	
Rampa	<input type="text"/>	(%)	
Rendimiento frenado	<input type="text"/>	(%)	
Masas rotativas	<input type="text"/>	()	

Atrás

Volver al Menú Principal

Calcular

Ilustración 4-38. Captura de pantalla de la GUI *Distancia_y_tiempo*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Peso** Peso total del vehículo.
- **Coeficiente** Coeficiente de resistencia a la rodadura.
- **Adherencia** Adherencia neumático-calzada.
- **Cx** Coeficiente aerodinámico de resistencia al avance.
- **Área frontal** Área frontal del vehículo.



- **Velocidad** Velocidad del vehículo.
- **Rampa** Rampa de la calzada.
- **Rendimiento** Rendimiento del frenado obtenido en 4.4.29.
- **Masas rotativas** Factor de masa equivalente de masas rotativas.

Atrás

Se vuelve al menú de frenado.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.31. DISTANCIA_Y_TIEMPO_RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.2.7.

La Ilustración 4-39 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-39. Captura de pantalla de la GUI *Distancia_y_tiempo_resultados*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Distancia** Distancia recorrida desde que se visualiza la emergencia hasta que se detiene el vehículo.
- **Tiempo** Tiempo transcurrido desde que se visualiza la emergencia hasta que se detiene el vehículo.

Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.32. POTENCIA_DISPADA_EN_EL_FRENADO

La Ilustración 4-40 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Potencia_disipada_en_el_frenado

Ayuda

DINÁMICA LONGITUDINAL: FRENADO

Potencia disipada en el frenado

Peso	<input type="text"/>	(kg)
Velocidad	<input type="text"/>	(km/h)
Tiempo hasta parada	<input type="text"/>	(s)
Masas rotativas	<input type="text"/>	()

En una frenada en descenso prolongado:

Rampa	<input type="text"/>	(%)
--------------	----------------------	-----

Atrás

Volver al Menú Principal

Calcular

Ilustración 4-40. Captura de pantalla de la GUI *Potencia_disipada_en_el_frenado*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Peso** Peso total del vehículo.



- **Velocidad** Velocidad del vehículo. El usuario debe entender que es distinta según la situación elegida. Si se desea analizar una frenada de emergencia, será la velocidad inicial, que disminuirá hasta cero al detenerse el vehículo. Si se trata de un descenso prolongado por pendiente, esta velocidad permanece constante durante el intervalo de tiempo considerado.
- **Tiempo** Tiempo transcurrido desde que se visualiza la emergencia hasta que se detiene el vehículo. Corresponde con el resultado obtenido en la GUI anterior.
- **Masas rotativas** Factor de masa equivalente de masas rotativas.
- **Rampa** Pendiente en una frenada de descenso prolongado.

Atrás

Se vuelve al menú de frenado.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.33. POTENCIA_DISPADA_EN_EL_FRENADO_RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.2.8.

La Ilustración 4-41 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-41. Captura de pantalla de la GUI
Potencia_disipada_en_el_frenado_resultados

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Frenado brusco** Potencia disipada.
- **Descenso prolongado** Potencia disipada.

Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.34. SUSPENSION_RIGIDA

La Ilustración 4-42 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.

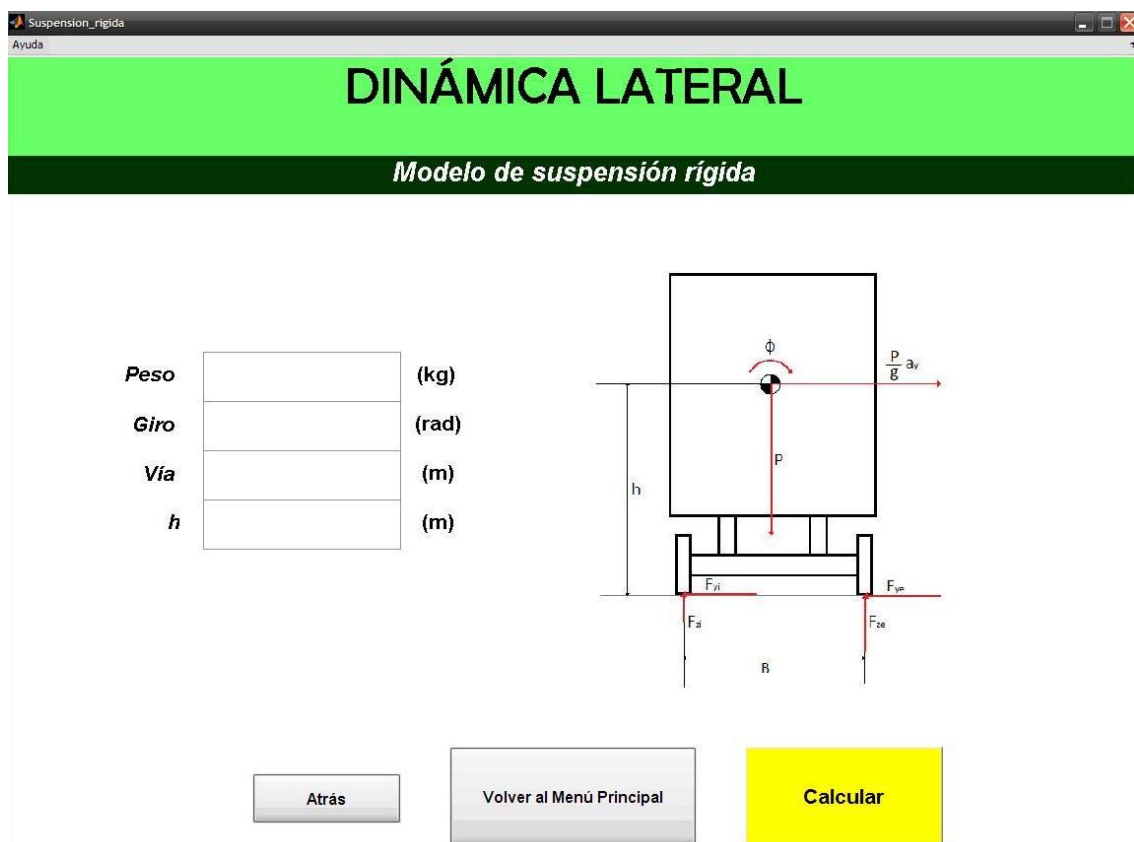


Ilustración 4-42. Captura de pantalla de la GUI *Suspension_rigida*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Peso** Peso total del vehículo.
- **Giro** Ángulo de balanceo.
- **Vía** Vía del vehículo.



- **h** Altura del CDG.

Atrás

Se vuelve al menú de análisis lateral.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.35. SUSPENSION_RIGIDA_RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.3.1.

La Ilustración 4-43 corresponde a una captura de pantalla de la GUI. Se muestra con un resultado, para poder visualizar la gráfica de la derecha. Esta gráfica no es una imagen, sino que se trata de la representación de unas funciones en unos ejes coordenados.

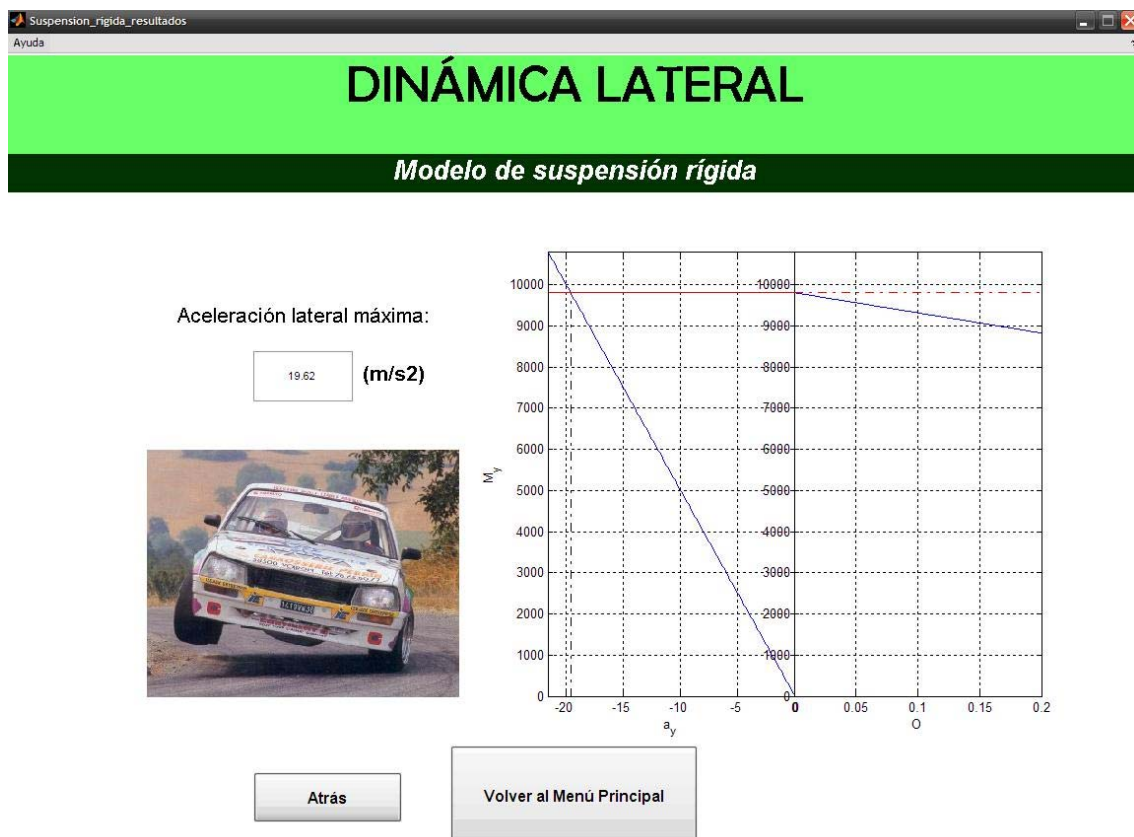


Ilustración 4-43. Captura de pantalla de la GUI *Suspension_rigida_resultados*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Acel. lat. máx.** Aceleración lateral máxima, a partir de la cual se produce inestabilidad lateral del vehículo y vuelca.

- **Gráfica** Muestra la relación entre el momento de vuelco y la aceleración lateral.

Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.36. SUSPENSION_ELASTICA

La Ilustración 4-44 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.

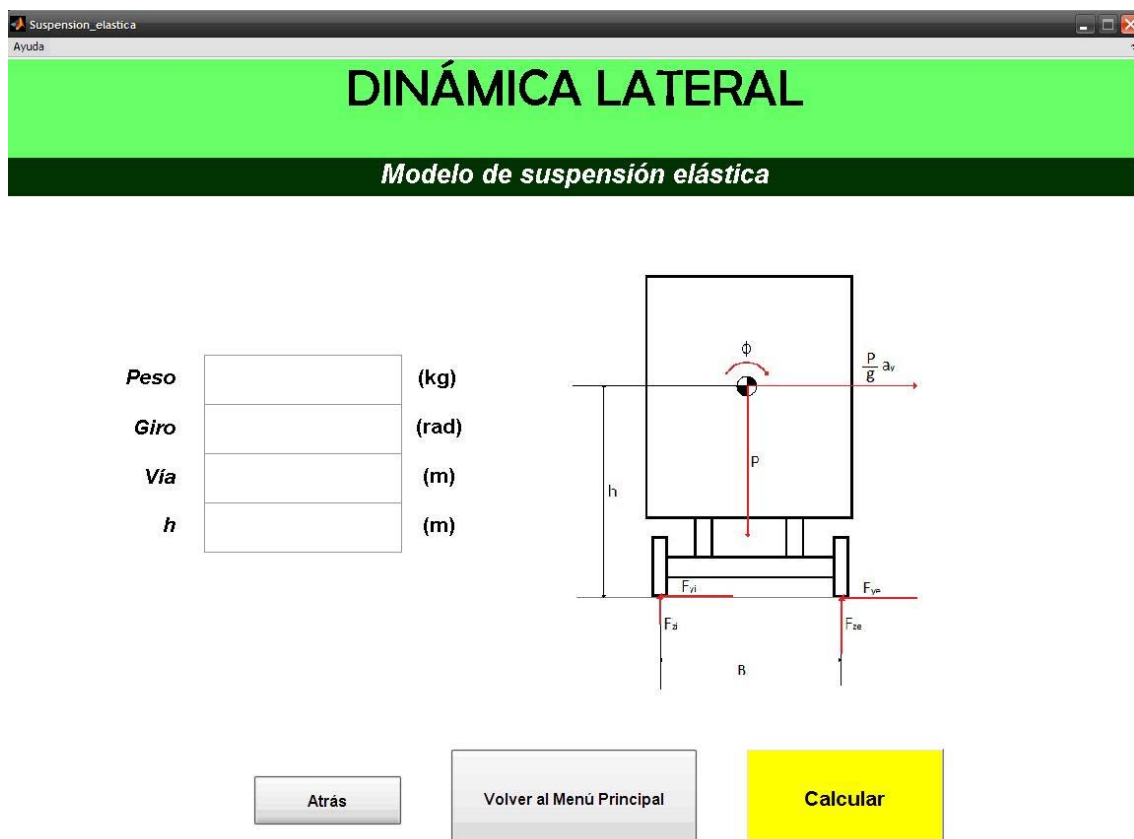


Ilustración 4-44. Captura de pantalla de la GUI *Suspension_elastica*



Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Peso** Peso total del vehículo.
- **Giro** Ángulo de giro de la masa suspendida como consecuencia de la elasticidad de la suspensión y de los neumáticos.
- **Vía** Vía del vehículo.
- **h** Altura del CDG.

Atrás

Se vuelve al menú de análisis lateral.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.37. SUSPENSION_ELASTICA_RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.3.2.

La Ilustración 4-45 corresponde a una captura de pantalla de la GUI, que al igual que antes, se muestra con unos resultados arbitrarios.

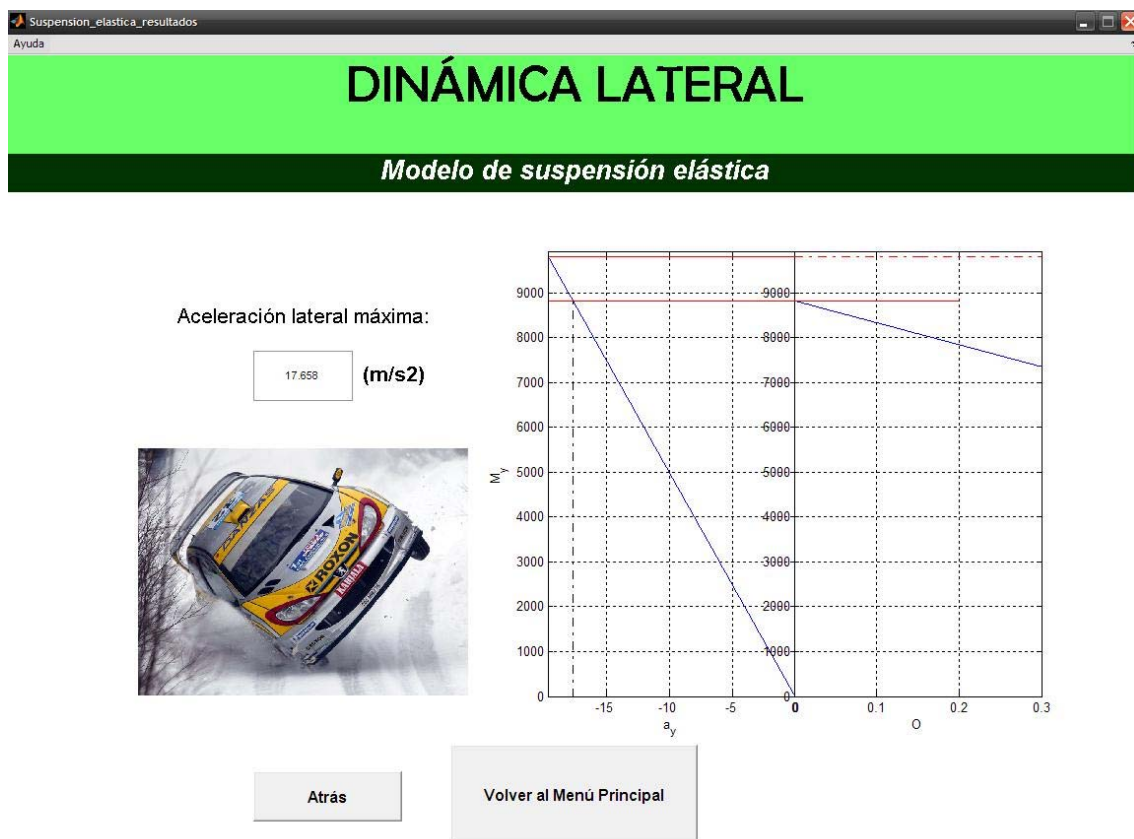


Ilustración 4-45. Captura de pantalla de la GUI *Suspension_elastica_resultados*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Acel. lat. máx.** Aceleración lateral máxima, a partir de la cual se produce inestabilidad lateral del vehículo y vuelca.

- **Gráfica** Muestra la relación entre el momento de vuelco y la aceleración lateral.

Atrás

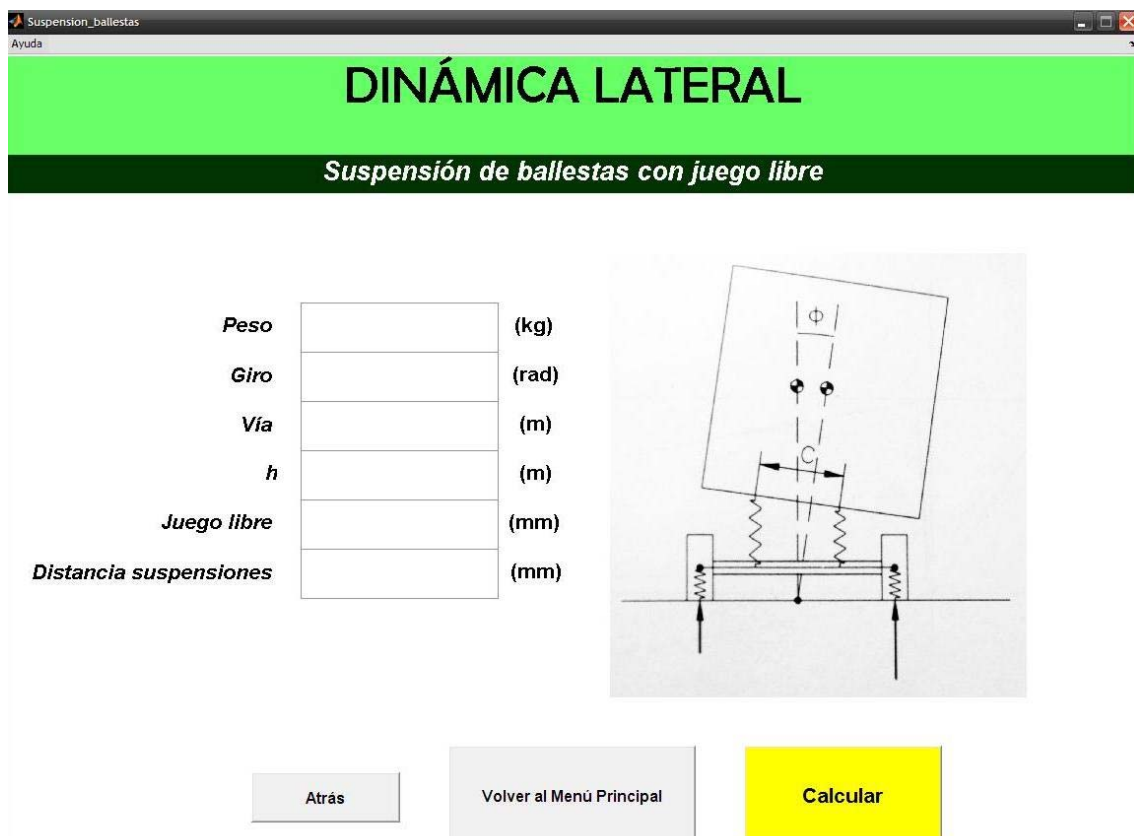
Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.38. SUSPENSION_BALLESTAS

La Ilustración 4-46 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



The screenshot shows a software window titled 'Suspension_ballestas' with a green header 'DINÁMICA LATERAL' and a subtitle 'Suspensión de ballestas con juego libre'. On the left, there are input fields for 'Peso' (kg), 'Giro' (rad), 'Vía' (m), 'h' (m), 'Juego libre' (mm), and 'Distancia suspensiones' (mm). To the right is a diagram of a vehicle chassis with a ball joint suspension system, showing the roll angle ϕ and the center of gravity C . At the bottom, there are three buttons: 'Atrás', 'Volver al Menú Principal', and 'Calcular'.

Ilustración 4-46. Captura de pantalla de la GUI *Suspension_ballestas*



Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Peso** Peso total del vehículo.
- **Giro** Ángulo de giro de la masa suspendida como consecuencia de la elasticidad de la suspensión y de los neumáticos.
- **Vía** Vía del vehículo.
- **h** Altura del CDG.
- **Juego libre** Juego entre la ballesta y su apoyo.
- **Dist. Suspen.** Distancia entre los apoyos de la ballesta de un mismo eje en sentido transversal.

Atrás

Se vuelve al menú de análisis lateral.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.39. SUSPENSION_BALLESTAS_RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.3.3.

La Ilustración 4-47 corresponde a una captura de pantalla de la GUI, igualmente con resultados.



Ilustración 4-47. Captura de pantalla de la GUI *Suspension_ballestas_resultados*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Acel. lat. máx.** Aceleración lateral máxima, a partir de la cual se produce inestabilidad lateral del vehículo y vuelca.

- **Gráfica** Muestra la relación entre el momento de vuelco y la aceleración lateral.

Atrás

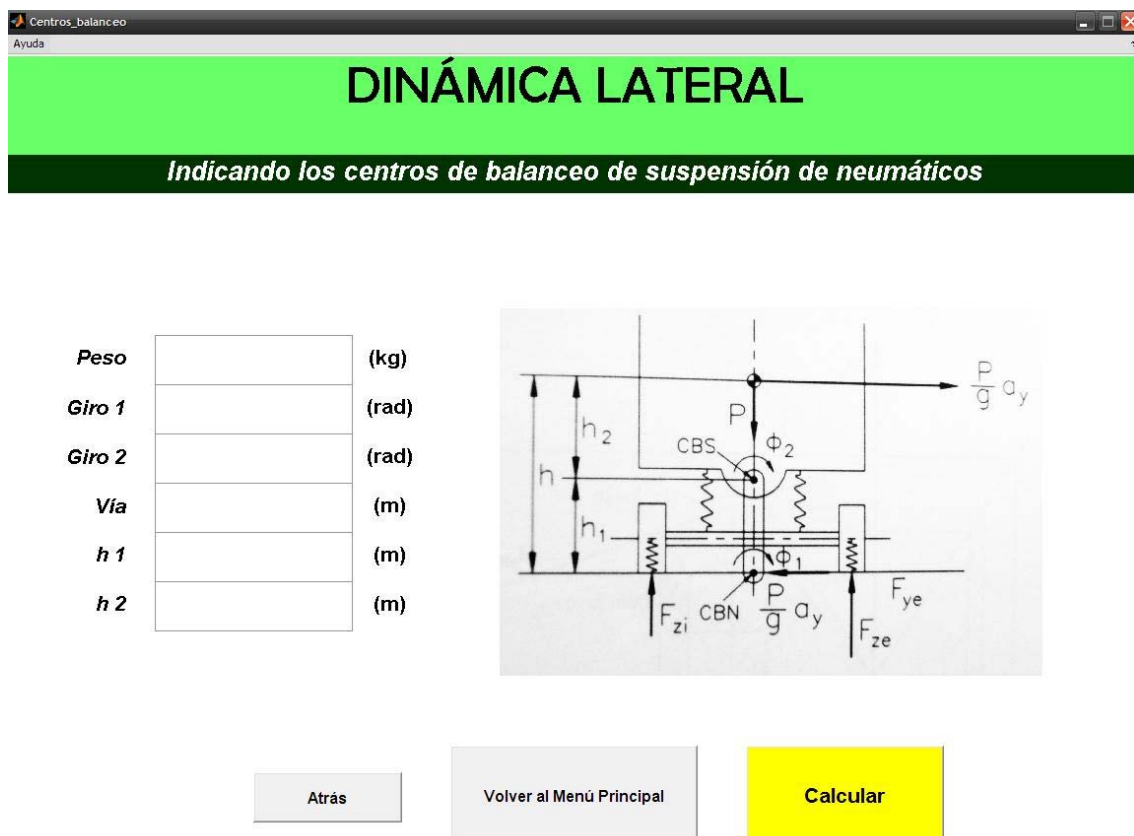
Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

4.4.40. CENTROS_BALANCEO

La Ilustración 4-48 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



The screenshot shows a software window titled 'Centros_balanceo' with a menu bar containing 'Ayuda'. The main area has a green header with the text 'DINÁMICA LATERAL' and a black sub-header with the text 'Indicando los centros de balanceo de suspensión de neumáticos'. Below this is a form with the following fields and units:

Peso		(kg)
Giro 1		(rad)
Giro 2		(rad)
Vía		(m)
h 1		(m)
h 2		(m)

To the right of the form is a diagram of a vehicle suspension system. It shows a car body with a center of gravity (P) at height h_2 from the roll center (CBS). The roll angle is ϕ_2 . The distance from the CBS to the ground is h_1 . The ground reaction forces are F_{zi} (vertical), F_{ze} (vertical), and F_{ye} (lateral). The lateral acceleration is $\frac{P}{g} a_y$. The diagram also shows the roll angle ϕ_1 at the CBS.

At the bottom of the window are three buttons: 'Atrás', 'Volver al Menú Principal', and 'Calcular'.

Ilustración 4-48. Captura de pantalla de la GUI *Centros_balanceo*



Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Peso** Peso total del vehículo.
- **Giro 1** Ángulo de balanceo respecto del centro de balanceo de los neumáticos.
- **Giro 2** Ángulo de balanceo respecto del centro de balanceo de la suspensión.
- **Vía** Vía del vehículo.
- **h1** Altura del centro de balanceo de la suspensión
- **h2** Diferencia de aturas entre el centro de balanceo de la suspensión y el CDG.

Atrás

Se vuelve al menú de análisis lateral.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.41. CENTROS_BALANCEO_RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.3.4.

La Ilustración 4-49 corresponde a una captura de pantalla de la GUI con ciertos resultados.

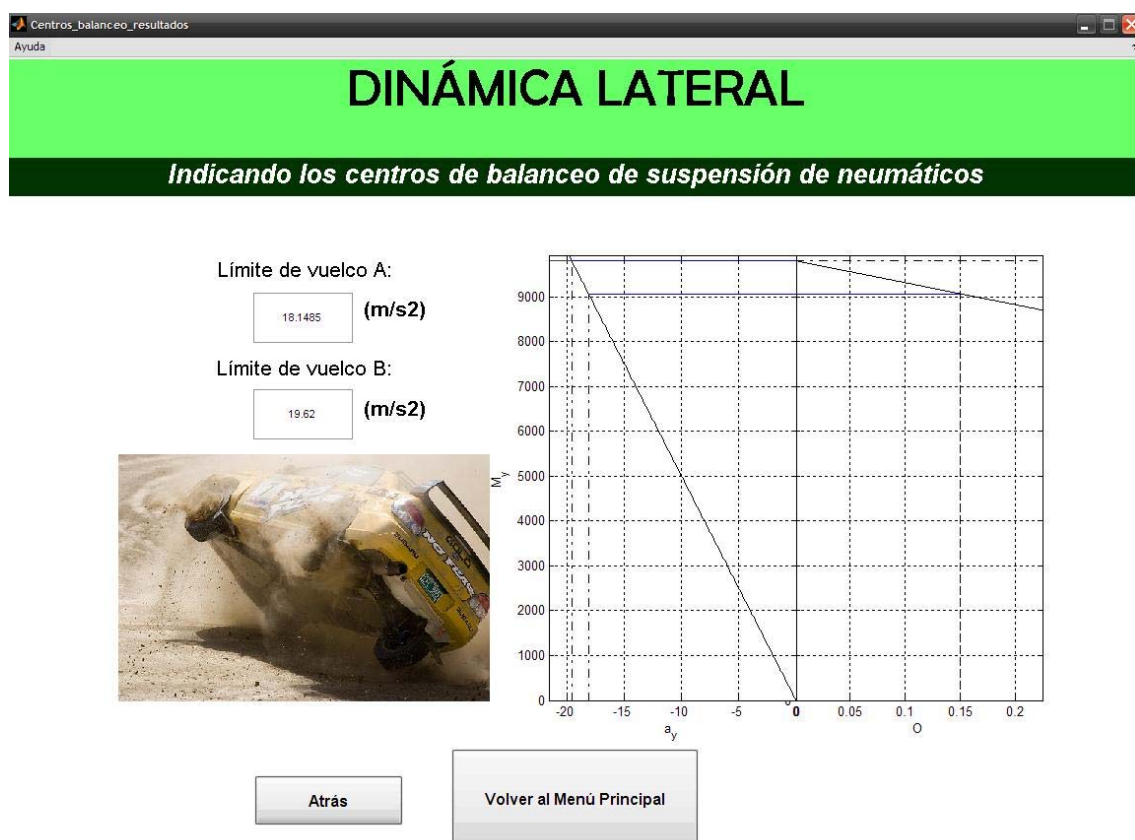


Ilustración 4-49. Captura de pantalla de la GUI *Centros_balanceo_resultados*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Lím. Vuelco A** Aceleración lateral máxima, mayor valor posible (en valor absoluto).



- **Lím. Vuelco B** Aceleración lateral máxima, menor valor posible (en valor absoluto).¹⁹
- **Gráfica** Muestra la relación entre el momento de vuelco y la aceleración lateral.

Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

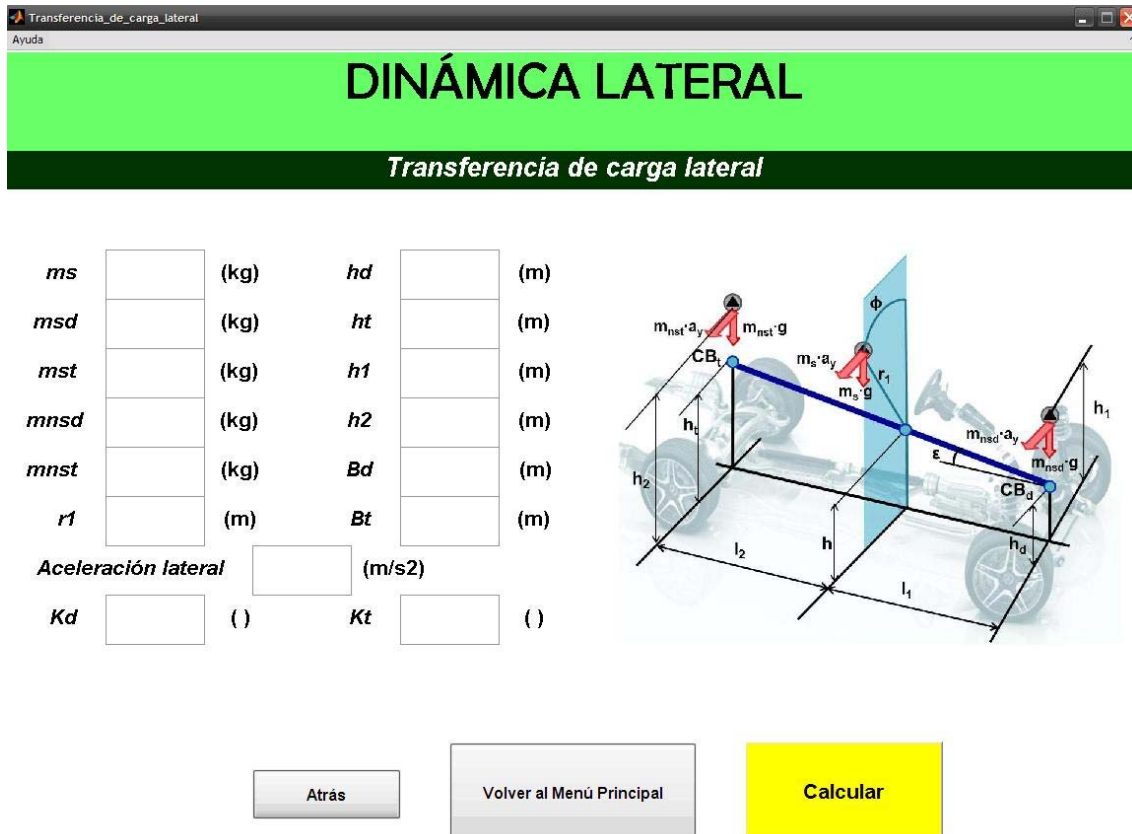
Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

¹⁹ Como ya se explicó en el Capítulo 3, estos cálculos han sido adaptados directamente de una aplicación existente, por lo que toda explicación se remite a la misma. Sin embargo, resulta oportuno mencionar que, para este modelo, se considera que el límite de vuelco real se encuentra en algún valor intermedio entre los dos límites obtenidos.

4.4.42. TRANSFERENCIA_DE_CARGA_LATERAL

La Ilustración 4-50 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



DINÁMICA LATERAL

Transferencia de carga lateral

m_s	<input type="text"/>	(kg)	h_d	<input type="text"/>	(m)
m_{sd}	<input type="text"/>	(kg)	h_t	<input type="text"/>	(m)
m_{st}	<input type="text"/>	(kg)	h_1	<input type="text"/>	(m)
m_{nsd}	<input type="text"/>	(kg)	h_2	<input type="text"/>	(m)
m_{nst}	<input type="text"/>	(kg)	B_d	<input type="text"/>	(m)
r_1	<input type="text"/>	(m)	B_t	<input type="text"/>	(m)
Aceleración lateral		<input type="text"/>	(m/s ²)		
K_d	<input type="text"/>	()	K_t	<input type="text"/>	()

Atrás Volver al Menú Principal Calcular

Ilustración 4-50. Captura de pantalla de la GUI *Transferencia_de_carga_lateral*

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **ms** Masa suspendida.
- **msd** Masa suspendida delantera.
- **mst** Masa suspendida trasera.
- **mnsd** Masa no suspendida delantera.
- **mnst** Masa no suspendida trasera.
- **R1** Distancia entre el eje de balanceo y el CDG.



- **hd** Altura del centro de balanceo delantero.
- **ht** Altura del centro de balanceo trasero.
- **h1** Altura de la masa no suspendida delantera.
- **h2** Altura de la masa no suspendida trasera.
- **Bd** Ancho de vía delantero.
- **Bt** Ancho de vía trasero.
- **Acel. lateral** Aceleración lateral.
- **Kd** Rigidez de balanceo en el eje delantero.
- **Kt** Rigidez de balanceo en el eje trasero.

Atrás

Se vuelve al menú de análisis lateral.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Calcular

Se muestran los resultados en una nueva ventana.

4.4.43. TRANSFERENCIA_DE_CARGA_LATERAL_RESULTADOS

Los cálculos realizados en esta GUI se han programado a partir de 3.3.5.

La Ilustración 4-51 corresponde a una captura de pantalla de la GUI.



Ilustración 4-51. Captura de pantalla de la GUI
Transferencia_de_carga_lateral_resultados

Los objetos más importantes son los siguientes.

- **Trans. Del.** Transferencia de carga de la rueda interior a la rueda exterior, en el eje delantero.
- **Trans. Tra.** Transferencia de carga de la rueda interior a la rueda exterior, en el eje trasero.



Atrás

Se vuelve a la ventana de introducción de los datos.

Volver al Menú Principal

Se vuelve al menú principal de la aplicación.

Capítulo 5

Resultados

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos a partir de una serie de datos de entrada. Los siguientes apartados, coincidentes con los del Capítulo 3, corresponden a las prestaciones y parámetros que la aplicación “Análisis dinámico de un vehículo automóvil” puede calcular.

Para obtener resultados mínimamente coherentes, los datos introducidos son tomados de una ficha técnica de un vehículo real. En este caso, se ha optado por el *Renault Mégane 1.5 dCi eco2 E5 90CV Style 5P* (ver Ilustración 5-1).

En la Tabla 1 se muestran los datos de la ficha técnica del vehículo²⁰. El caso estudiado es hipotético, aunque puede ser extrapolable a cualquier caso real. No se pretende ser excesivamente riguroso en este sentido, pues la

²⁰ Se han excluido algunos datos de la ficha técnica al no ser en absoluto relevantes para el cálculo. Incluso así, no todos los parámetros de la Tabla 1 se utilizan en el programa, pero se considera interesante mantenerlos, para tener una visión más completa del vehículo escogido. Para consultar la ficha técnica completa, ver [13] de la Bibliografía.

aplicación está enfocada a la docencia, y por ello muchos de los datos de entrada son suposiciones propias o se han extrapolado de casos similares.



Ilustración 5-1. Renault Mégane 1.5 dCi eco2 E5 90CV Style 5P. Fuente: página Web de la marca < <http://www.renault.es/>>

Tabla 1. Ficha técnica del Renault Mégane 1.5 dCi eco2 E5 90CV Style 5P. Fuente: elaboración propia

Motor	Cilindrada (cc)	1461
	Volumen (litros)	1.5
	Diámetro (mm)	76.0
	Carrera (mm)	80.5
	Relación de compresión	15.2:1
	Nº de Cilindros	4
	Configuración	En línea
	Distribución	Árbol de levas en cabeza (OHC)
	Válvulas por cilindro	2
	Compresor	Sí. Turbo compresor
Normativa de emisiones	Normativa	EU5
	Nivel CO ₂ – combinado (g/km)	115
	Nivel de CO ₂ – mixto (g/km)	115
	Filtro de partículas	Sí



Combustible y Alimentación del motor	Alimentación	Inyección. Diesel "common rail"
	Combustible	Diesel
	Capacidad (litros)	60
	Capacidad (gal)	15.9
	Capacidad (GB gal)	13.2
Prestaciones	Velocidad máxima (km/h)	180
	Aceleración 0-100 km/h (s)	12.5
	Velocidad máxima (mph)	112
Potencia	Normativa de medida	CEE
	Potencia máxima (kw)	66
	Potencia máxima (CV)	90
	Régimen de potencia máxima (rpm)	4000
	Par máximo (Nm)	200
	Régimen de par máximo (rpm)	1750
Consumo combustible	ECE 99/100	1
	Urbano (l/100km)	5.3
	Carretera (l/100km)	4.0
	Combinado (l/100km)	4.4
	Urbano (km/l)	18.9
	Extraurbano (km/l)	25.0
	Mixto (km/l)	22.7
	Urbano (mpg)	44
	Carretera (mpg)	59
	Combinado (mpg)	53
	Urbano (millas por gallon inglés)	53
	Extraurbano (millas por gallon inglés)	71
	Mixto (millas por gallon inglés)	64
Transmisión	Ruedas motrices	delanteras
	Control electrónico de tracción	Sí
	Transmisión	manual
	Velocidades	5
	Suelo	situación de la palanca
	Código transmisión	JR5 175
	Manual	descripción de la transmisión
	Control de estabilidad	Sí
Dimensiones	Longitud (mm)	4295

exteriores	Anchura (mm)	1808
	Altura (mm)	1471
	Batalla (mm)	2641
	Ancho de vía delantero (mm)	1546
	Ancho de vía trasero (mm)	1547
	Diámetro de giro (mm)	10950
	Longitud (in)	169.1
	Anchura (in)	71.2
	Altura (in)	57.9
	Batalla (in)	104.0
	Ancho de vía delantero (in)	60.9
	Ancho de vía trasero (in)	60.9
	Diámetro de giro (ft)	35.9
Pesos	Peso máximo autorizado (kg)	1762
	Peso en vacío publicado (kg)	1215
	Peso máx. remolcable con freno (kg)	1300
	Peso máx. remolcable sin freno (kg)	645
	Peso máximo autorizado (libras)	3885
	Peso en vacío publicado (libras)	2679
	Peso máx. remolcable con freno (lbs)	2866
	Peso máx. remolcable sin freno (lbs)	1422

Según el cálculo que corresponda, se exponen los datos de entrada y sus resultados en el apartado correspondiente. Los valores extraídos directamente de la ficha técnica no son comentados. Otros datos, cuyo origen es distinto, si es la primera vez que aparecen en el capítulo, vienen acompañados de un breve comentario.

No es oportuno comparar los valores obtenidos con un cálculo a mano. Aunque esta operación se ha realizado por el autor, MatLab opera con gran precisión y los datos obtenidos son precisos, por lo que mostrar dicha comparación en este documento sería redundante. Los comentarios realizados no se refieren a la validez de los cálculos sino a apreciaciones cualitativas.

En cada apartado se incluye una referencia al cálculo teórico y la GUI que correspondan.

5.1. DINÁMICA LONGITUDINAL. TRACCIÓN

5.1.1. REPARTO DE CARGAS ESTÁTICAS

Los datos de entrada son los siguientes.

$P = 1300kg$ Suposición propia. Simple aproximación teniendo en cuenta que el peso en vacío es de 1215 kg.

$$L = 2.64m$$

$F_{zd} = 53\%$ Suposición propia.

$F_{zd} = 47\%$ Ídem.

Como se observa, se ha optado por introducir los datos del reparto en porcentaje. Además, pese a que el fabricante tiende a publicar oficiosamente que el reparto de cargas es del 50%, en la realidad, en vehículos de tracción delantera (y más si el motor de encuentra delante), tienen una ligera sobrecarga hacia delante, que además garantiza la adherencia. Se ha estimado oportuno el reparto anterior.

A través de la GUI definida en 4.4.6 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.7. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.1.1.

$$l_1 = 1.2408m$$

$$l_2 = 1.3992m$$

Efectivamente, los resultados obtenidos indican que el CDG se encuentra ligeramente desplazado hacia el eje delantero.

5.1.2. ESFUERZO TRACTOR MÁXIMO

Los datos de entrada son los siguientes.

$$P = 1300kg$$

$$f_r = 0.014$$

Suposición propia. Valor estándar obtenido de la literatura.²¹

$$\mu = 0.9$$

Ídem.²²

$$L = 2.64m$$

$$l_1 = 1.24m$$

De los resultados obtenidos en 5.1.1.

$$l_2 = 1.4m$$

Ídem.

$$h = 0.5m$$

Estimado a partir de: $h \cong \frac{h_{tot}}{3}$

$$\xi_1 = 11$$

Suposición propia a partir de datos de vehículos similares.

$$M_{max} = 200Nm$$

$$\eta_{motor} = 95\%$$

Suposición propia.

$$\eta_{transmisión} = 90\%$$

A partir de datos de vehículos similares.

$$r_c = 0.285m$$

Depende del neumático escogido. Este valor está dentro del rango de la serie a la que pertenecería el vehículo.

Tracción : delantera

²¹ Ver p. 49-50 de [1] en la Bibliografía.

²² Ibíd., p. 57.

A través de la GUI definida en 4.4.8 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.9. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.1.2.

$$F_T = 6600N$$

Valor perfectamente normal para un coche de la categoría.

5.1.3. RAMPA MÁXIMA

Los datos de entrada son los siguientes.

$$F_T = 5000N$$

Suposición propia. De los resultados obtenidos en 5.1.2, se tiene que tener en cuenta que dicho esfuerzo se obtendría a velocidades mayores que las de este cálculo. Para poder calcular la rampa máxima, se tiene que tener en cuenta que la velocidad del vehículo debe ser realmente baja. De hecho, se aproxima a cero.

$$P = 1300kg$$

$$f_r = 0.014$$

A través de la GUI definida en 4.4.10 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.11. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.1.3.

$$Rampa = 40.8374\%$$

Esta rampa corresponde a un ángulo de unos 22° . Una pendiente considerable, que en la realidad probablemente no conseguiría. Téngase en cuenta que, para un ángulo tan elevado, la transferencia de carga juega un

papel notable, influyendo en una posible pérdida de adherencia o en la aparición de un par de reacción opuesto al de tracción.

5.1.4. VELOCIDAD MÁXIMA Y RESISTENCIAS

Los datos de entrada son los siguientes.

$$P = 1300kg$$

$$f_r = 0.02 \quad \text{Suposición propia.}^{23}$$

$$C_x = 0.27 \quad \text{Suposición propia.}^{24}$$

$$A_f = 2m^2 \quad \text{En general, } A_f = f \cdot b \cdot h^{25}$$

$$Rampa = 0\%$$

$$H_{\max} = 90CV$$

$$n_{\max} = 4000rpm$$

$$\xi_5 = 1 \quad \text{Ya que el vehículo tiene 5 velocidades, suponemos la directa.}$$

$$i = 0.02 \quad \text{Suposición propia.}^{26}$$

$$\eta_{\text{motor}} = 95\%$$

$$\eta_{\text{transmisión}} = 90\%$$

²³ Ver. p. 49 de [1] en la Bibliografía.

²⁴ Ibíd. Cap. 3 y [16] de la Bibliografía.

²⁵ Ibíd., p. 150.

²⁶ Ibíd., p. 52-53.

A través de la GUI definida en 4.4.12 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.13. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.1.4.

$$v_{\max} = 183.237 \text{ km/h}$$

$$R_a = 856.88 \text{ N}$$

$$R_r = 255.06 \text{ N}$$

$$R_g = 0 \text{ N}$$

De los resultados anteriores, podemos comentar lo siguiente. Primero, que la velocidad máxima obtenida es muy cercana a la publicada por el fabricante (180 km/h), lo cual indica que el método de cálculo propuesto por la asignatura es muy acertado, o al menos lo ha sido en este caso. Por otro lado, acerca de las resistencias, obsérvese que la gravitatoria es nula, ya que hemos querido calcular la velocidad máxima del vehículo en llano, con lo que la gravedad no ofrece resistencia al avance.

Además, como curiosidad, se observa que la resistencia aerodinámica supone el 77% de la resistencia total al avance. La literatura considera que a 100 km/h la resistencia aerodinámica puede llegar a representar un 80% de la resistencia total de un vehículo de tamaño medio europeo²⁷. Por lo tanto, una contribución del 77% a 183 km/h es una clara mejora de tal estimación, aún asumiendo errores analíticos. Los vehículos modernos cada vez están mejor diseñados para reducir este factor lo más posible, pues supone una reducción del consumo notable a altas velocidades, ya que la resistencia aerodinámica aumenta cuadráticamente con la velocidad.

²⁷ Ver explicación en p. 128 de [1] en la Bibliografía.

5.1.5. ACELERACIÓN

Los datos de entrada son los siguientes.

$$P = 1300kg$$

$$F_T = 6600N$$

A partir de los resultados de 5.1.2

$$R = 175.354N$$

Cálculos propios tomando una velocidad de 60 km/h.

$$\gamma_m = 1.06$$

En general, $\gamma_m = (1.04 + 0.0025 \cdot \xi_i^2)$

A través de la GUI definida en 4.4.14 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.15. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.1.5.

$$a_{\max} = 4.6623m/s^2$$

Que corresponde con una aceleración de unos 0,5 g's. Quizás es un valor demasiado elevado para el automóvil escogido. Sin embargo, téngase en cuenta las limitaciones del cálculo (ver apartado 3.1.5) y las suposiciones tomadas.

5.1.6. ACUAPLANEO

Los datos de entrada son los siguientes.

$$p = 2.3bar$$

Valor de presión de inflado normal en vehículos de este tipo.

A través de la GUI definida en 4.4.16 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.17. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.1.6.

$$v_{A1} = 59.7531km/h$$

$$v_{A2} = 96.1509 km/h$$

Valores coherentes con la literatura, que es muy conservativa en sus estimaciones.²⁸

5.2. DINÁMICA LONGITUDINAL. FRENADO

5.2.1. PAR RESISTENTE DEL MOTOR EN UNA DETERMINADA MARCHA

Este caso es más teórico que real. El cálculo de las variables que influyen en este cálculo en la realidad depende de más parámetros y se requiere más información que la pedida. En cualquier caso, los datos de entrada que se han estimado son los siguientes.

$$M_c = 40 Nm$$

A partir de la literatura se estima un par a la salida del motor.²⁹

$$\xi_5 = 3$$

Estimación propia, suponiendo 3ª velocidad.

$$\eta_{transmisión} = 90\%$$

A través de la GUI definida en 4.4.18 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.19. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.2.1.

$$M_{fm} = 311.111 Nm$$

Valor de momento de frenado que, en caso de disponer de un convertidor de par que transmitiese potencia desde las ruedas al motor, como

²⁸ Ver p. 60-66 de [1] en la Bibliografía.

²⁹ *Ibíd.*, p. 223.

en vehículos pesados, resultaría en una contribución al frenado del vehículo muy significativa. El vehículo escogido no dispone de este tipo de convertidor.

5.2.2. REPARTO DE LAS CARGAS EN LA FRENADA

Los datos de entrada son los siguientes.

$$P = 1300kg$$

$$f_r = 0.014 \quad \text{Suposición propia.}$$

$$L = 2.64m$$

$$\mu = 0.9$$

$$l_1 = 1.24m \quad \text{De los resultados obtenidos en 5.1.1.}$$

$$l_2 = 1.4m \quad \text{De los resultados obtenidos en 5.1.1.}$$

$$h = 0.5m$$

A través de la GUI definida en 4.4.20 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.21. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.2.2.

$$F_{zd} = 914.432kg, \quad 70.3409\%$$

$$F_{zt} = 385.568kg, \quad 29.6591\%$$

Se observa como se produce una transferencia de carga muy acusada de las ruedas traseras a las delanteras.

5.2.3. REPARTO ÓPTIMO EN LA FRENADA

Los datos de entrada son los siguientes.

$$f_r = 0.014$$

$$\mu = 0.9$$

$$l_1 = 1.24m$$

De los resultados obtenidos en 5.1.1.

$$l_2 = 1.4m$$

De los resultados obtenidos en 5.1.1.

$$h = 0.5m$$

A través de la GUI definida en 4.4.22 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.23. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.2.3.

$$F_{zd} = 70.3409\%$$

$$F_{zt} = 29.6591\%$$

Como se puede observar, los resultados obtenidos son iguales a los del apartado 5.2.2. Como ya se ha explicado anteriormente, esto es correcto (ver apartados 4.4.21 y 4.4.23).

5.2.4. BLOQUEO DE LAS RUEDAS

Este cálculo también es puramente teórico. El bloqueo supone una superación de la adherencia neumático-rueda. El bloqueo se puede producir en el eje trasero o el delantero y los efectos que cada uno produce son diferentes. Para el cálculo real de las fuerzas que intervienen, se tiene que tener en cuenta multitud de factores. En este caso, los valores a introducir deben ser hipotéticos o, en todo caso, haberse calculado a mano previamente. Para este cálculo debería realizarse un análisis del sistema de frenado y la suspensión, que no se ha tenido en cuenta. Así, los datos de entrada son los siguientes.

$F_{\text{lim},d} = 8200N$	Suposición propia.
$F_{\text{lim},t} = 3200N$	Ídem, teniendo en cuenta que $F_{\text{lim},d} > F_{\text{lim},t}$.
$F_{\text{adh},d} = 8970N$	Suposición propia a partir de 5.2.2.
$F_{\text{adh},t} = 3790N$	Ídem.

A través de la GUI definida en 4.4.24 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.25. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.2.4.

Bloquean _las _ruedas _delanteras

No _bloquean _las _ruedas _traseras

De ser este el caso, las fuerzas de inercia sobre el CDG y las de rozamiento en las ruedas proporcionan un momento de guiñada que disminuye con el valor de la perturbación lateral, por lo que el sistema no es inestable. Supone una pérdida de control importante, en términos de control direccional, pero al menos no se pierde un control absoluto del automóvil.

5.2.5. MÁXIMA DECELERACIÓN SUFRIDA ANTES DE BLOQUEO

Los datos de entrada son los siguientes.

$$f_r = 0.014$$

$$\mu = 0.9$$

$$L = 2.64m$$

$$l_1 = 1.24m \quad \text{De los resultados obtenidos en 5.1.1.}$$

$$l_2 = 1.4m \quad \text{De los resultados obtenidos en 5.1.1.}$$

$$h = 0.5m$$

$$K_{fd} = 70\%$$

Suposición propia, por seguir en la misma línea que en apartados anteriores, aunque este valor puede ser muy distinto.

$$K_{ft} = 30\%$$

Ídem.

A través de la GUI definida en 4.4.26 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.27. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.2.5.

$$\left(\frac{a}{g}\right)_d = 0.919794g$$

$$\left(\frac{a}{g}\right)_t = 0.490465g$$

Que son valores en g's muy fáciles de conseguir en una frenada brusca. De ahí a que se incluyan en los vehículos sistemas de asistencia al frenado como el ABS.

5.2.6. RENDIMIENTO DEL FRENADO

Los datos de entrada son los siguientes.

$$\mu = 0.9$$

$$a_{\max} = 0.28g$$

Suposición propia, teniendo en cuenta que no se recomienda superar los 0.3 g's, tal y como se comenta en 3.2.6.

A través de la GUI definida en 4.4.28 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.29. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.2.6.

$$\eta_f = 31.1111\%$$

Valor que se considera coherente, teniendo en cuenta las restricciones de confort y seguridad asumidas.

5.2.7. DISTANCIA Y TIEMPO EN UNA FRENADA DE EMERGENCIA

Los datos de entrada son los siguientes.

$$P = 1300kg$$

$$f_r = 0.014$$

$$\mu = 0.9$$

$$C_x = 0.27$$

$$A_f = 2m^2$$

$$v = 100km/h$$

Cualquier valor es válido. En este caso calculamos la distancia recorrida hasta detenerse el vehículo, cuando se circula a 100 km/h, así como el tiempo empleado en ello.

$$Rampa = 0\%$$

Se quiere conocer lo anterior mientras se circula en llano.

$$\eta_f = 31.1111\%$$

Del apartado 5.2.6.

$$\gamma_m = 1.06$$

A través de la GUI definida en 4.4.30 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.31. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.2.7.

$$S_{pT} = 50.1778m$$

$$t_{pT} = 2.34069s$$

Resultados muy similares a los de vehículos de características semejantes.

5.2.8. POTENCIA DISIPADA EN EL FRENADO

En este caso, se toman diferentes datos de entrada para las dos situaciones a estudiar.

1. Frenada brusca desde 100 km/h hasta parada.

$$P = 1300kg$$

$$v = 100km / h$$

$$t_{pT} = 2.34s$$

Del apartado 5.2.7.

$$\gamma_m = 1.06$$

2. Frenada prolongada, al realizar un descenso pisando el freno en todo momento.

$$P = 1300kg$$

$$v = 60km / h$$

Suposición propia. Cualquier valor es válido.

$$t_{pT} = 0s$$

No importa que valor se introduzca, pues en este caso no corresponde a un tiempo hasta parada. Esta variable no influye en el cálculo.

$$\gamma_m = 1.06$$

$$Rampa = 5\%$$

Suposición propia. Cualquier valor es válido.

A través de la GUI definida en 4.4.32 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.33. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.2.8.

1. $H_{m1} = 23.1595\text{kw}$

2. $H_{m1} = 3.9\text{kw}$

En este caso, por las condiciones elegidas, se disipada mucha más energía en la frenada brusca que en el descenso. No son valores comparables al ser situaciones completamente diferentes.

5.3. DINÁMICA LATERAL.

5.3.1. MODELO DE VEHÍCULO CON SUSPENSIÓN RÍGIDA

Los datos de entrada son los siguientes.

$$P = 1300\text{kg}$$

$$Giro = 0.2\text{rad}$$

Suposición propia.

$$B = 1.546\text{m}$$

El menor entre los dos ejes, por ser más conservativo.

$$h = 0.5\text{m}$$

A través de la GUI definida en 4.4.34 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.35. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.3.1.

$$a_{ym\acute{a}x} = 15.1663\text{m/s}^2$$

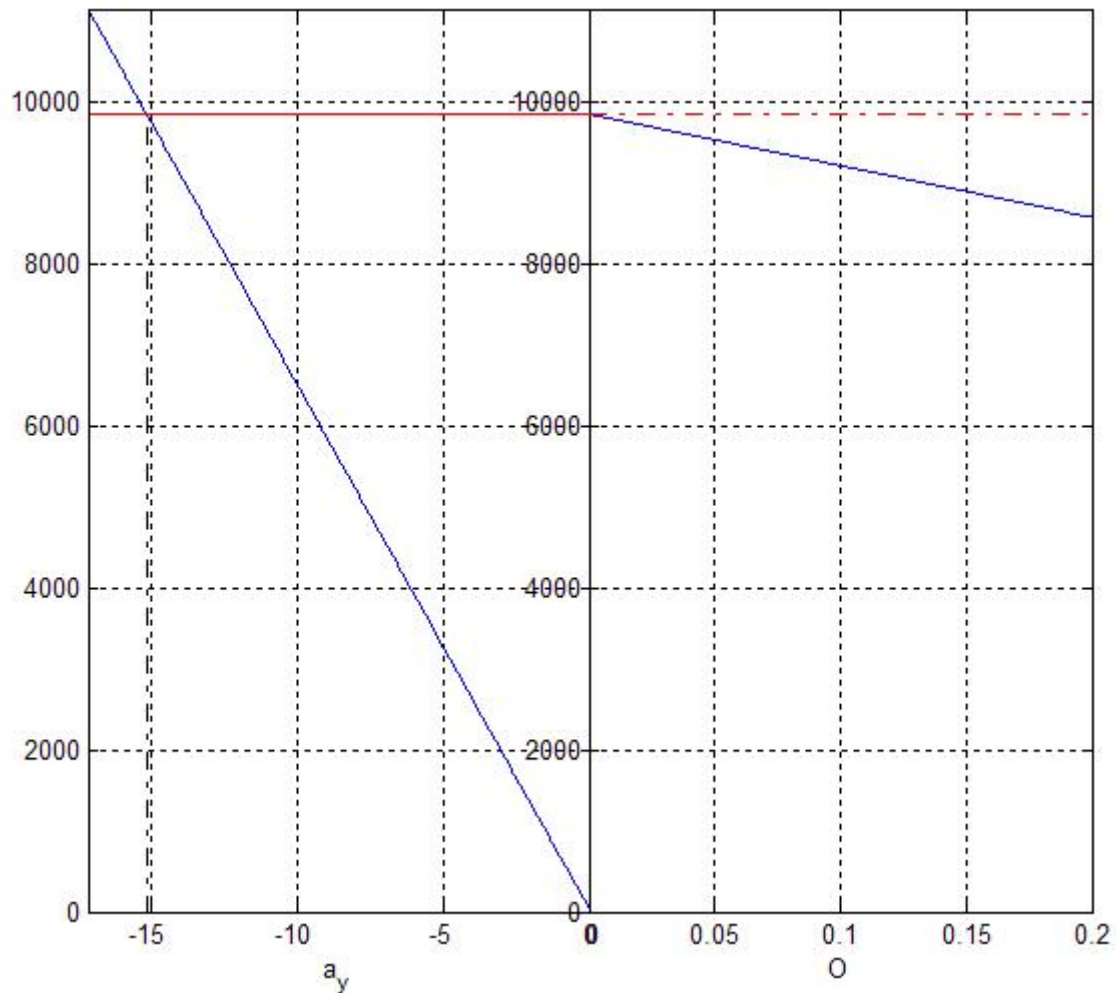


Ilustración 5-2. Gráfico de resultados para el modelo de suspensión rígida

El valor obtenido es coherente con la literatura. Ejercicios con datos similares de la asignatura proporcionan valores parecidos. En la gráfica de la Ilustración 5-2 se muestra el grafismo que debería realizar el alumno para obtener este resultado.

5.3.2. MODELO DE VEHÍCULO CON SUSPENSIÓN ELÁSTICA

Los datos de entrada son los siguientes.

$$P = 1300kg$$

$$Giro = 0.2rad$$

$$B = 1.546m$$

$$h = 0.5m$$

Como se puede observar, se escogen los mismos datos de entrada que en el cálculo anterior para poder realizar una comparativa.

A través de la GUI definida en 4.4.36 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.37. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.3.2.

$$a_{ymáx} = 12.3214m/s^2$$

Se obtiene un valor de aceleración crítica menor, lo cual es correcto, pues indica que el efecto de una amortiguación conlleva alcanzar el umbral de vuelco antes que con una suspensión rígida. Sin embargo, pese a influir negativamente en el comportamiento lateral, la amortiguación mejora el confort de los pasajeros y reduce las vibraciones, mejorando además la vida en fatiga del vehículo.

En la gráfica de la Ilustración 5-3 se muestra el grafismo que debería realizar el alumno para obtener este resultado.

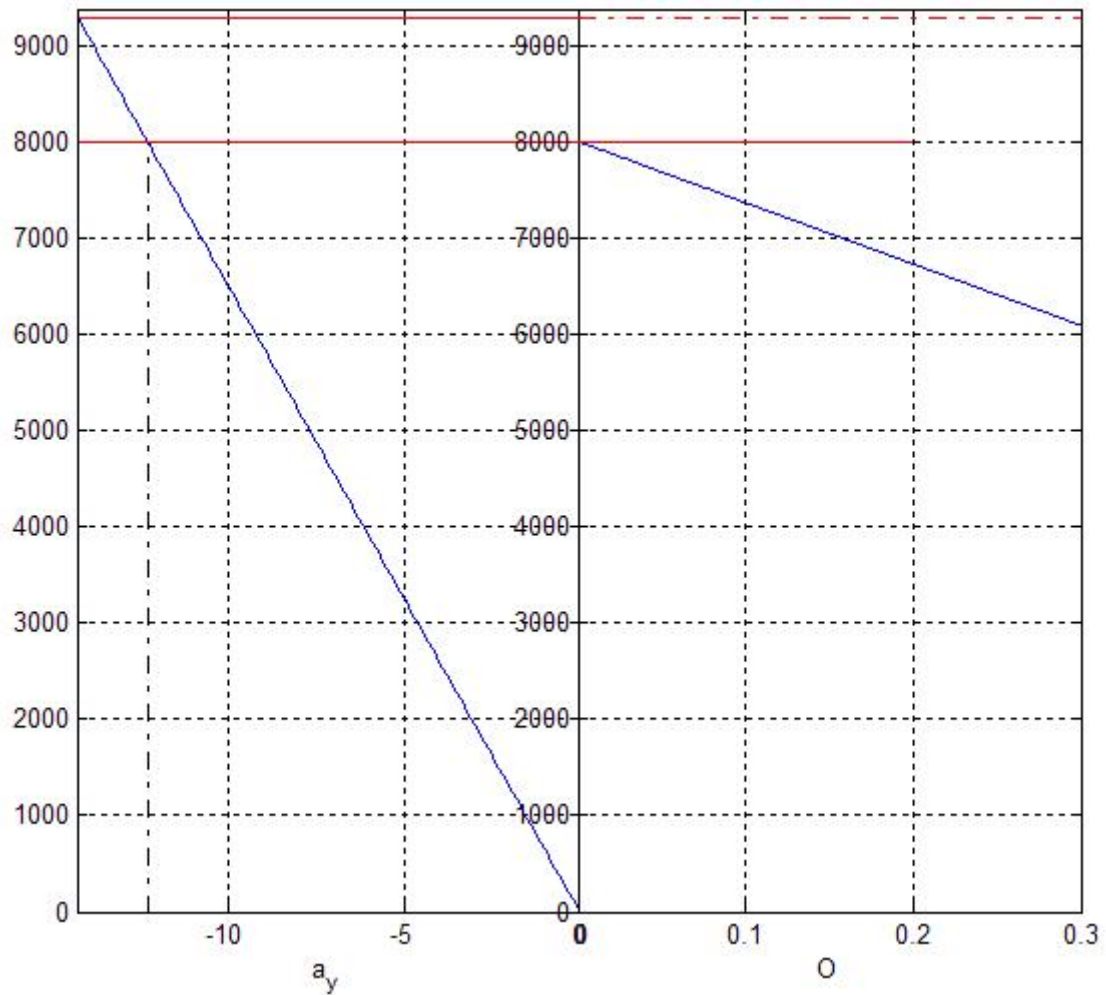


Ilustración 5-3. Gráfico de resultados para el modelo de suspensión rígida

5.3.3. MODELO DE VEHÍCULO CON SUSPENSIÓN DE BALLESTAS

Los datos de entrada son los siguientes.

$$P = 1300kg$$

$$Giro = 0.2rad$$

$$B = 1.546m$$

$$h = 0.5m$$

$$J = 15mm$$

Suposición propia.

$$C = 1000mm$$

Ídem.

A través de la GUI definida en 4.4.38 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.39. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.3.3.

$$a_{ym\acute{a}x} = 13.0571m/s^2$$

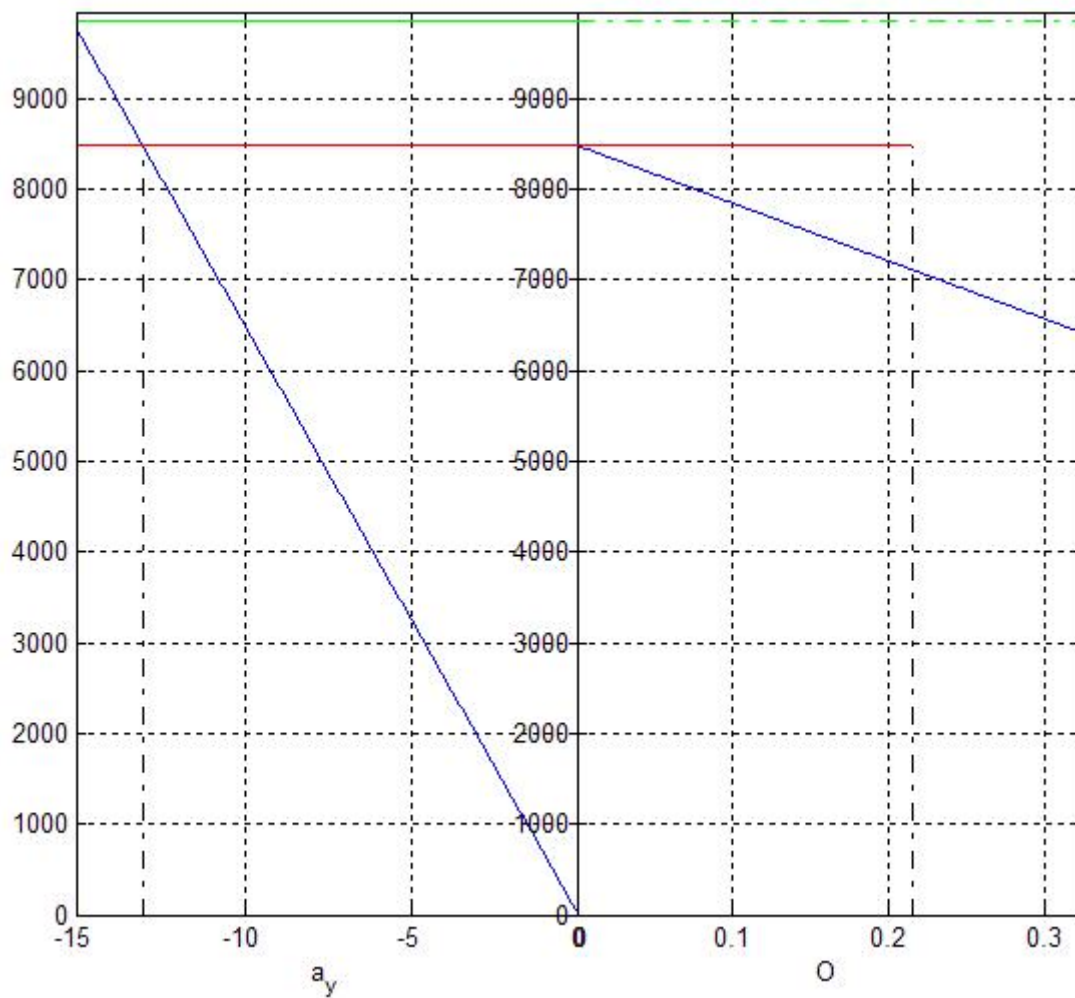


Ilustración 5-4. Gráfico de resultados para el modelo de suspensión de ballesta

En la gráfica de la Ilustración 5-4 se muestra el grafismo que debería realizar el alumno para obtener este resultado.

En este caso, la comparativa es más difusa, pues los datos de juego libre y distancia entre suspensiones se han escogido arbitrariamente.

5.3.4. MODELO DE VEHÍCULO CON SUSPENSIÓN INFLUENCIADA POR LA POSICIÓN DEL CENTRO DE BALANCEO

Los datos de entrada son los siguientes.

$$P = 1300kg$$

$$Giro1 = 0.08rad$$

Suposición propia.

$$Giro2 = 0.12rad$$

Ídem.

$$B = 1.546m$$

$$h_1 = 0.2m$$

Ídem.

$$h_2 = 0.3m$$

Ídem.

Nótese que se han escogido valores de giro y altura cuya suma sea igual a la de los apartados anteriores, para favorecer la comparación de resultados.

A través de la GUI definida en 4.4.40 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.41. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.3.4.

$$a_{ymáx}|_A = 13.9891m/s^2$$

$$a_{ymáx}|_B = 15.1663m/s^2$$

De modo que el valor crítico, a tenor de los resultados, estaría entre los 13.9891 m/s^2 y los 15.1663 m/s^2 .

En la gráfica de la Ilustración 5-5 se muestra el grafismo que debería realizar el alumno para obtener este resultado.

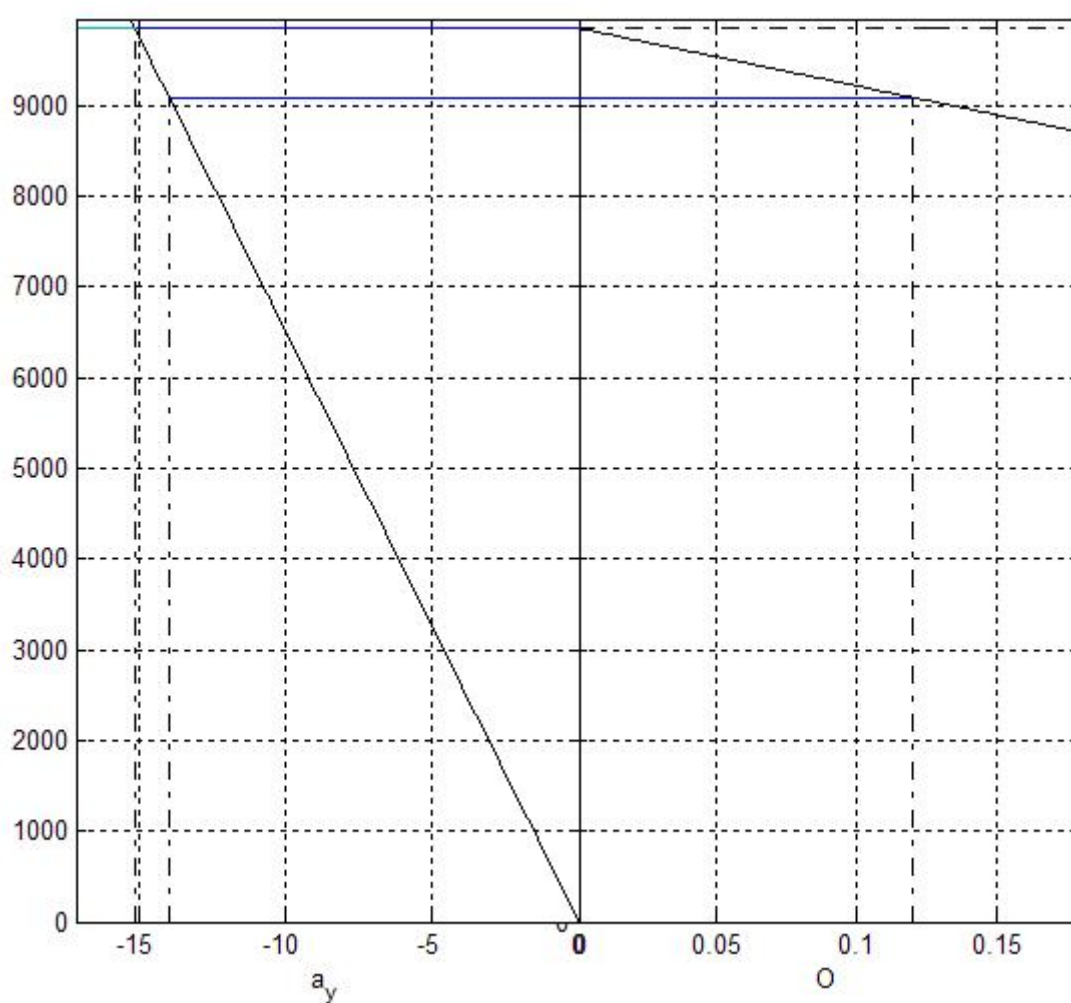


Ilustración 5-5. Gráfico de resultados para el modelo de suspensión indicando centros de balanceo

5.3.5. TRANSFERENCIA DE CARGA LATERAL

Los datos de entrada son los siguientes.

$m_s = 1170kg$	Estimación del 90% del peso total del vehículo, según [3] de la Bibliografía.
$m_{sd} = 620.1kg$	Suposición propia de que tenga el mismo reparto que el asumido en el apartado 5.1.1. Por lo tanto, 53% de m_s .
$m_{st} = 549.9kg$	Suposición propia de que tenga el mismo reparto que el asumido en el apartado 5.1.1. Por lo tanto, 47% de m_s .
$m_{nsd} = 68.9kg$	La masa no suspendida se estima como el 10% del peso total del vehículo, según [3] de la Bibliografía. De la anterior (130kg), se toma el mismo reparto que el asumido en el apartado 5.1.1.
$m_{nst} = 61.1kg$	Ídem.
$r_1 = 0.303m$	A partir del apartado 3.3.5.
$h_d = 0.15m$	Suposición propia. Inferido a partir de ejercicios tipo de la asignatura.
$h_t = 0.25m$	Ídem.
$h_1 = 0.25m$	Ídem.
$h_2 = 0.35m$	Ídem.
$B_d = 1.546m$	

$$B_t = 1.547m$$

$$a_y = 10m/s^2 \quad \text{Cualquier valor es válido.}$$

$$K_{\phi d} = 16000Nm/rad \quad \text{Suposición propia.}$$

$$K_{\phi t} = 13000Nm/rad \quad \text{Ídem.}$$

A través de la GUI definida en 4.4.42 se obtienen los siguientes resultados en la GUI definida en 4.4.43. Los cálculos teóricos corresponden a los del apartado 3.3.5.

$$\Delta F_d = 253.46kg$$

$$\Delta F_t = 250.06kg$$

Debido a las ligeras diferencias en dimensiones y rigideces, no se transfiere la misma carga en el eje delantero que en el trasero. La diferencia es, sin embargo, mínima. Aún así, los valores obtenidos indican que las ruedas interiores, al tomar una curva tal que la aceleración lateral fuese de $10 m/s^2$, perderían gran parte de su adherencia.

5.4. RESUMEN DE RESULTADOS.

En la Tabla 2 se muestra un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 2. Resumen de resultados

Dinámica longitudinal. Tracción	Reparto de cargas estáticas	l1	1,2408 m
		l2	1,3992 m
	Esfuerzo tractor máximo	Ft	6600 N
	Rampa máxima	Rampa	40,8374 %
	Velocidad máxima y resistencias	Vmax	188,209 km/h
		Ra	904,109 N
		Rr	178,542 N
		Rg	0 N
	Aceleración	a	4,6623 m/s ²
	Acuaplaneo	Va1	59,7531 km/h
		Va2	96,1509 km/h
Dinámica longitudinal. Frenado	Par resistente del motor	Mf	311,111 Nm
	Reparto de cargas en la frenada	Kfd	914,432 kg
		Kft	385,568 kg
	Reparto óptimo de la frenada	Kfd	70,3409 %
		Kft	29,6591 %
	Bloqueo de las ruedas	Delanteras	Sí
		Traseras	No
	Máxima deceleración	(a/g)d	0,919794 g
		(a/g)t	0,490465 g
	Rendimiento del frenado	η	31,1111 %
Dinámica lateral	Distancia y tiempo	Spt	50,1778 m
		tpt	2,34069 s
	Potencia disipada	Frenada brusca	23,1595 kw
		Descenso	3,9 kw
	Suspensión rígida	ay	15,1663 m/s ²
	Suspensión elástica	ay	12,3214 m/s ²
	Suspensión de ballestas	ay	13,0571 m/s ²
	Centros de balanceo	ay,A	13,9891 m/s ²
		ay,B	15,1663 m/s ²
	Transferencia de carga	Delanteras	253,46 kg
		Trasera	250,06 kg

Capítulo 6

Conclusiones

A partir de los objetivos establecidos en el apartado 1.3, en este capítulo se analiza la consecución de los mismos. Siguiendo la numeración del citado apartado se expone lo siguiente.

1. Se considera que la interfaz desarrollada es lo suficientemente simple como para que cualquier usuario la experimente. Se ha observado su uso por parte de usuarios sin conocimientos en programación y, más allá de las dificultades teóricas en cuanto a la materia tratada, consideran su uso sencillo. Para potenciar esta facilidad aún más, siguiendo el manual de la aplicación, el usuario puede resolver sus dudas en cualquier momento.
2. Se ha dejado un margen de mejora de la aplicación bastante amplio y claro. En el Capítulo 7 se exponen algunas ampliaciones a realizar en

el programa. Siguiendo el presente documento en su totalidad, y más específicamente las recomendaciones del manual del apartado 9.2, un programador puede mejorar la aplicación sin demasiadas dificultades. Para comprender con claridad el código del programa, el apartado 4.4 sirve de guía.

3. Los cálculos y fórmulas implementados en la aplicación están basados directamente en la materia impartida por la asignatura, y por lo tanto se concluye que no se precisan conocimientos extras para entender su procedimiento.
4. En el Capítulo 5 se exponen los resultados de un caso práctico. Tal y como se analiza en el capítulo, los resultados obtenidos son correctos.
5. En versiones antiguas de MatLab, previas al 2006, existen problemas con las librerías. Este problema puede solucionarse reinstalando las mismas. De todas formas, versiones tan antiguas están totalmente desfasadas y parece normal asumir compatibilidad con versiones más modernas. El listado de versiones para las que la aplicación “Análisis dinámico de un vehículo automóvil” funciona perfectamente se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Versiones de MatLab compatibles con la aplicación desarrollada. Fuente: página Web de la compañía <<http://www.mathworks.com/products/matlab/>>

Versión	Nombre de la versión	Año
MATLAB 7.4	R2007a	2007
MATLAB 7.5	R2007b	
MATLAB 7.6	R2008a	2008
MATLAB 7.7	R2008b	
MATLAB 7.8	R2009a	2009
MATLAB 7.9	R2009b	
MATLAB 7.10	R2010a	2010
MATLAB 7.11	R2010b	

6. La adaptación de la aplicación AECVE ha sido satisfactoria, obteniéndose los mismos resultados con el nuevo formato.

Además de lo anterior, se quiere comentar el punto 4 del apartado 1.4. Como se menciona en el mismo, antes de desarrollar la aplicación en GUIDE, se realizó un modelo preliminar en Power Point (ver Ilustración 6-1).

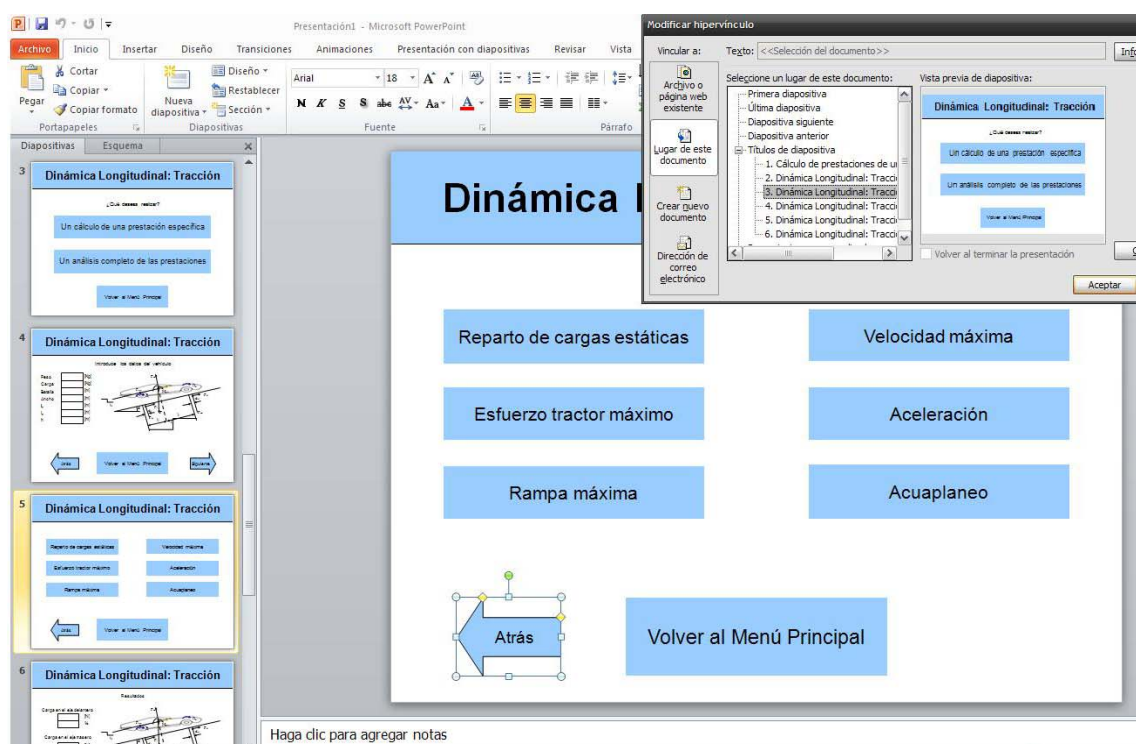


Ilustración 6-1. Captura de pantalla de un estado primario de la creación del Power Point inicial que sirvió de modelo

Gracias al mismo, se pudieron establecer las relaciones entre GUIs y entre botones antes de empezar a programar. La rapidez al confeccionar diapositivas simples en Power Point y lo sencillo que resulta establecer hipervínculos entre objetos, resultó en la creación de un modelo gráfico similar a la interfaz que se deseaba realizar, muy fácil de modificar y visualizar al



instante. Si este paso no se hubiese cometido, el coste de tiempo a la larga habría sido mucho mayor. Hacer cambios gráficos o de hipervínculos en una presentación de Power Point es relativamente rápido y sencillo, mientras que en GUIDE supone más tiempo y complejidad, pues se debe programar y editar cada objeto. Por ello se recomienda, si se fuese a realizar una aplicación en GUIDE con muchas GUIs, como es este caso, realizar un modelo previo con un procedimiento similar.

Capítulo 7

Futuras líneas de trabajo

En este capítulo se exponen posibles continuaciones al trabajo realizado en este PFC. Se considera este capítulo fundamental, pues como se ha explicado, la aplicación desarrollada ha sido concebida para continuarse en el futuro, y se ha diseñado de la forma más abierta posible, con perspectivas de ser mejorada por otros alumnos.

Las siguientes modificaciones son sólo propuestas y en ningún caso limitan las posibilidades. En efecto, el análisis dinámico de un vehículo automóvil es muy complejo y extenso, por lo que este programa seguramente siempre acepte mejoras. Para comenzar a realizar cambios en la aplicación, se recomienda consultar primero el manual de referencia, incluido en este documento, en el apartado 9.2.

A continuación se presentan las futuras líneas de trabajo consideradas.

1. Primero, según los tres apartados en los que se divide la aplicación, conviene considerar que el análisis vertical del vehículo podría ser una

cuarta sección. De este modo, se contemplaría el análisis longitudinal, lateral y vertical, abarcando por completo el análisis dinámico del vehículo. El análisis vertical corresponde principalmente a las suspensiones del automóvil. Sin embargo, este apartado es realmente complejo de analizar, pues su dependencia con las otras tres categorías es muy fuerte. De hecho, el diseño de la suspensión de un automóvil es una de las tareas más complicadas en la práctica. Téngase en cuenta que, en el análisis lateral de la aplicación desarrollada, ya se estudian los efectos de la suspensión del vehículo.

2. Al contemplar los cálculos para la sección de tracción se han hecho una serie de simplificaciones y se ha excluido lo máximo posible todo lo referido a la transmisión. Esta parte del análisis es muy importante y debería considerarse prioritaria en futuras ampliaciones del programa. El análisis de la transmisión del vehículo influye significativamente en el cálculo de las prestaciones del mismo. En el programa desarrollado en este PFC las relaciones de transmisión se han considerado variables de entrada que el usuario debe estimar oportunas, tal y como se expone en el Capítulo 5. Lo ideal sería poder obtenerlas a través de la ficha técnica del automóvil, como un apartado más dentro de la sección de Dinámica longitudinal: tracción.
3. Otra pequeña modificación sería poder introducir los datos del neumático, según la nomenclatura técnica, para obtener algunas de las variables utilizadas en la aplicación (como por ejemplo, el radio bajo carga r_c).
4. Aunque ya se ha mencionado en el apartado correspondiente (ver 3.1.5), el cálculo de la máxima aceleración que puede desarrollar el vehículo debería ser más riguroso. Se podría, igualmente, mostrar una gráfica de la variación de la aceleración respecto a la velocidad y mostrar el máximo de la misma.

5. Siguiendo con lo anterior, existen otros apartados que invitan a la confección de gráficas, como las desarrolladas en la sección de dinámica lateral. Así, por ejemplo, como la resistencia al avance depende de la velocidad, se podría incluir una gráfica de forma análoga al punto anterior para la GUI explicada en el apartado 4.4.13.
6. Pese a ser un tema independiente dentro de la materia impartida en la asignatura “Teoría de vehículos”, no se ha profundizado en la aerodinámica del automóvil. La aplicación desarrollada sólo calcula la resistencia aerodinámica en sentido longitudinal cuando el vehículo circula a máxima velocidad. Lo cierto es que el análisis analítico de la aerodinámica apenas tiene sentido si no incluye simulaciones CFD, e incluso éstas suelen diferir enormemente de la realidad. En la práctica, lo habitual es seguir un proceso paralelo entre simulaciones CFD y pruebas en túneles de viento. En general, los datos obtenidos en los túneles se dimensionan para el diseño y posterior análisis computacional. En cualquier caso, los cálculos analíticos en este tema son escasos pero podrían introducirse en la aplicación desarrollada con objeto didáctico. Por ejemplo, podría analizarse el efecto de la introducción de un alerón trasero.
7. Ciertas componentes del vehículo, incluso si son opcionales, modifican las prestaciones del mismo. Cabe plantearse la opción de incluir en el análisis el efecto del convertidor de par, el turbo, el ABS u otros dispositivos que, actualmente, están presentes en casi la totalidad de los vehículos automóviles del mercado.
8. El análisis de la dinámica lateral se ha confeccionado adaptando un trabajo ya existente. Dicho trabajo permite obtener aceleraciones laterales máximas según el modelo de suspensión a considerar. Sin embargo, existen otros cálculos que podrían haberse incluido en esta sección que, además, serían relativamente sencillos. Por ejemplo, se

podría añadir el cálculo de la velocidad límite de derrape y la velocidad límite de vuelco, con peralte y sin peralte. Además, según los valores obtenidos, se podría concluir si el vehículo está diseñado para derrapar antes de poder volcar, como debería ser.

9. Por otro lado, más allá de los posibles cálculos a añadir o cambiar, existe la posibilidad de mejorar la interfaz gráfica, no sólo desde el punto de vista visual o de experiencia de usuario, sino de posibilidades computacionales. Como la aplicación está desarrollada sobre la plataforma MatLab, se debería poder explotar al máximo las posibilidades que ofrece. Así, por ejemplo, se propone enlazar la aplicación en GUIDE con la herramienta Simulink.
10. Por último, y relacionado con lo anterior, se podría mejorar la aplicación para que se pudiesen cargar datos de entrada desde un fichero de texto así como guardar los resultados obtenidos. Por ejemplo, a partir de la función *xlwrite* de MatLab, se pueden escribir los datos obtenidos en una hoja de Excel.

Capítulo 8

Bibliografía

Monografías

- [1]. APARICIO IZQUIERDO, Francisco; VERA ÁLVAREZ, Carlos; DÍAZ LÓPEZ, Vicente. *Teoría de los vehículos automóviles*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 1995.
- [2]. GILLESPIE, Thomas D. *Fundamentals of vehicle dynamics*. Pittsburg: Society of Automotive Engineers, 1992.
- [3]. LÓPEZ MAYO, Alberto. *Diseño de una suspensión semiactiva mediante QTF*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra, 2006.
- [4]. BECA BAULENAS, Carlos; GAUCHÍA BABÉ, Antonio. *Análisis de la estabilidad en condiciones de vuelco estático: AECVE*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2010.

-
- [5]. BARRAGÁN GUERRERO, Diego Orlando. *Manual de interfaz gráfica de usuario en matlab*. Loja: Universidad técnica particular de Loja, 2008.
 - [6]. GARCÍA DE JALÓN, Javier; RODRÍGUEZ, José Ignacio; BRAZÁLEZ, Alfonso. *Aprenda Matlab 6.1 como si estuviera en primero*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2001.
 - [7]. FERNÁNDEZ DE CÓRDOBA MARTOS, Gonzalo. *Creación de interfaces gráficas de usuario con Matlab*. Salamanca: Universidad de Salamanca, 2007.

Artículos de revistas

- [8]. LÓPEZ BOADA, María Jesús; LÓPEZ BOADA, Beatriz; DÍAZ LÓPEZ, Vicente. *Desarrollo de un software para el cálculo de prestaciones y dinámica longitudinal de un vehículo*. Madrid: Revista de la Asociación Española de Ingeniería Mecánica. Vol. 15, p. 785-791, 2004.
- [9]. CALVO RAMOS, José Antonio; LÓPEZ BOADA, María Jesús; SAN ROMAN GARCÍA, José Luis; GARCIA-POZUELO RAMOS, Daniel. *Aplicación de Simulink al Cálculo de las Prestaciones de un Vehículo Automóvil*. Madrid: Anales de Ingeniería Mecánica, Vol. 1. p. 183-190, 2008

Documentos propios

- [10]. BUHIGAS PÉREZ, Javier. *Manual de usuario de la aplicación "Análisis dinámico de un vehículo automóvil"*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2011.

- [11]. BUHIGAS PÉREZ, Javier. *Manual de referencia de la aplicación “Análisis dinámico de un vehículo automóvil”*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2011.

Programas informáticos

- [12]. BECA BAULENAS, Carlos; GAUCHÍA BABÉ, Antonio. *Análisis de la estabilidad en condiciones de vuelco estático: AECVE*. [aplicación en GUIDE de MATLAB]. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2010.

Páginas Web

- [13]. Ficha técnica del Renault Mégane 1.5 dCi eco2 E5 90CV Style 5P. <<http://www.cochesyconcesionarios.com/fichas/Renault/Megane/8019088-prestaciones-dimensiones.html>>.
- [14]. Foro Web de programadores. <<http://www.lawebdelprogramador.com/foros/Matlab/index1.html>>.
- [15]. Página Web oficial de ayuda de MatLab. < <http://www.mathworks.com/help/>>.
- [16]. Página Web de Wikipedia (español), Anexo: Cx de automóviles. <http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Cx_de_automóviles>

Libros en línea

- [17]. BARRAGÁN GUERRERO, Diego Orlando. *Handbook of graphical user interface*. < <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/12122> >.

Capítulo 9

Anexos

9.1. ANEXO 1. MANUAL DE USUARIO

9.1.1. INTRODUCCIÓN

Este manual tiene como fin ayudar al usuario a usar la aplicación “Análisis dinámico de un vehículo automóvil”. En este documento se ha transcrito el manual original (ver [10] de la Bibliografía), al que se puede acceder desde la propia aplicación. Se trata de un documento en formato *.pdf* denominado “Manual de la aplicación”, que se ha realizado al mismo tiempo que la aplicación (y por lo tanto se puede considerar parte del presente PFC) para que en cualquier momento el usuario pueda consultarlo si tiene alguna duda. Para acceder a él, se debe acceder al menú de ayuda del menú superior de la aplicación (ver apartado 4.3).

Para repetir lo menos posible, no se expone la totalidad del manual, ya que, por ejemplo, hay imágenes que ya están incluidas en el presente documento. Aunque es imposible no reiterar algo, se trata de referenciar lo más posible. Aún así, el lector podrá observar que este anexo es una adaptación del

presente documento, y sobretodo del Capítulo 4, para convertirlo en un manual de ayuda al interactuar con la aplicación.

9.1.2. EJECUTAR LA APLICACIÓN

Para iniciar el programa, se deben seguir los siguientes pasos.

1. Descargar la carpeta que contiene los archivos necesarios para utilizar la aplicación “Análisis dinámico de un vehículo automóvil”.
2. Colocar la carpeta en la ruta que el usuario desee.
3. Abrir el programa MatLab.
4. En la parte superior de MatLab, hacer clic en el botón que permite especificar la ruta (ver Ilustración 9-1).

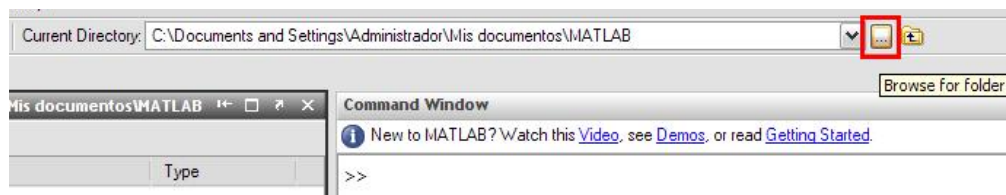


Ilustración 9-1. Captura de pantalla. Detalle del botón *Browse for folder*.

5. Elegir como ruta la especificada en el punto 2 (ver Ilustración 9-2).

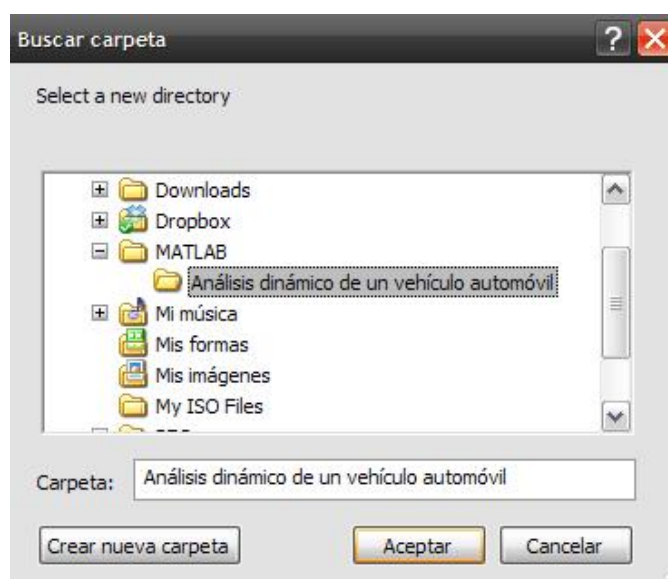


Ilustración 9-2. Ruta ejemplo de la aplicación

6. En la pantalla de MatLab, escribir *Inicio*. En la parte izquierda de la pantalla, en el cuadro Current directory, debería ver todos los archivos de la aplicación (ver Ilustración 9-3).

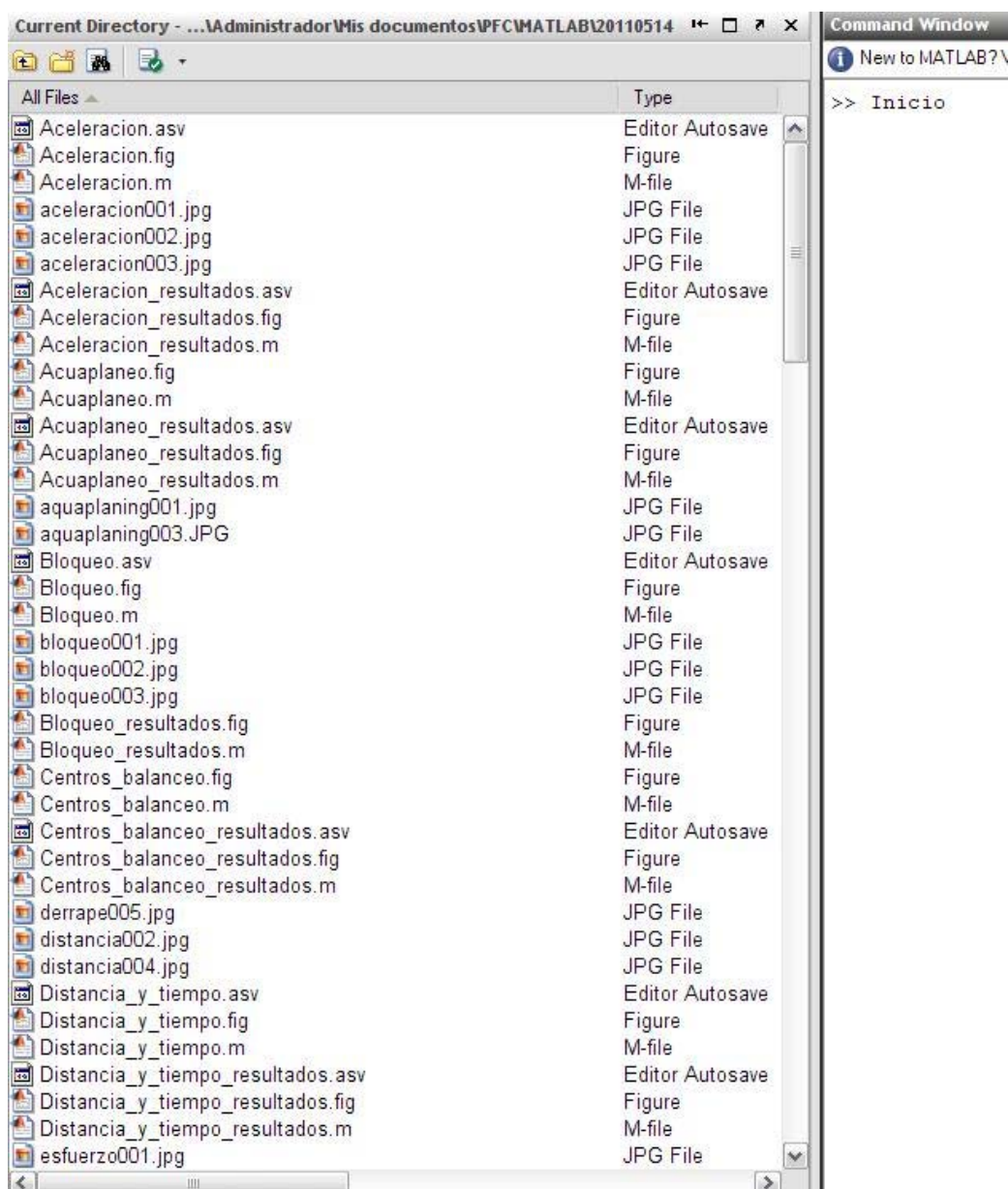
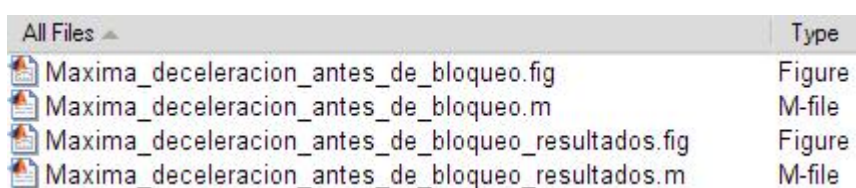


Ilustración 9-3. Captura de pantalla del *Current Directory*

9.1.3. FORMATO DE LOS ARCHIVOS

La carpeta que contiene todos los archivos de la aplicación sigue el siguiente orden. Por defecto, se ordenan todos los archivos alfabéticamente, como se puede ver en la Ilustración 9-3. Además, como cada GUI tiene

asociada una figura y un *m-file*, los archivos están en pares, en el formato **.fig* y **.m* correspondientemente. Por otro lado, en los casos de GUIs que correspondan a pantallas de cálculo de una prestación, cada uno de estos pares va acompañado de otro par donde al nombre del archivo en cuestión se le añade “_resultados”, correspondiendo a la GUI que muestra los resultados obtenidos. La Ilustración 9-4 muestra un ejemplo de estos cuatro archivos.



All Files	Type
Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo.fig	Figure
Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo.m	M-file
Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo_resultados.fig	Figure
Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo_resultados.m	M-file

Ilustración 9-4. Captura de pantalla de los cuatro archivos relacionados con el cálculo de la máxima deceleración antes de bloqueo.

La relación entre las GUIs del programa, y en esencia el contenido y forma del programa, se resume en los esquemas de las figuras Ilustración 4-2, Ilustración 4-3, Ilustración 4-4 e Ilustración 4-5.

Además, en la carpeta se encuentran todas las imágenes que usa el programa en formato *.jpg*. Tienen que estar todas presentes en la misma raíz que el resto de archivos para que aparezcan en pantalla al ser llamadas por la aplicación.

Por último, además de los archivos anteriores, se encuentra un archivo en formato *.pdf*. Este archivo es el manual de ayuda de la aplicación. Se puede abrir manual independientemente o a través del menú de ayuda una vez ejecutada la aplicación.

9.1.4. DESCRIPCIÓN DE CADA VENTANA DE LA APLICACIÓN

A continuación se explican los botones y campos de texto de cada GUI para su correcto uso.

9.1.4.1. INICIO

La Ilustración 9-5 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-5. Captura de pantalla de la GUI *Inicio*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.

9.1.4.2. MENU_PRINCIPAL

La Ilustración 9-6 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-6. Captura de pantalla de la GUI *Menu_principal*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Menu_traccion*.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Menu_frenado*.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Menu_lateral*.

9.1.4.3. MENU_TRACCION

La Ilustración 9-7 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-7. Captura de pantalla de la GUI *Menu_traccion*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Reparto_de_cargas estaticas.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Esfuerzo_tractor_maximo.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Rampa_maxima.
4. Cierra la presente ventana y abre la GUI Velocidad_maxima_y_resistencias_al_avance.

5. Cierra la presente ventana y abre la GUI Aceleración.
6. Cierra la presente ventana y abre la GUI Acuaplaneo.
7. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.

9.1.4.4. MENU_FRENADO

La Ilustración 9-8 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-8. Captura de pantalla de la GUI *Menu_frenado*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Par_resistente_del_motor.



2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Reparto_de_cargas_en_la_frenada.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Reparto_optimo_de_la_frenada.
4. Cierra la presente ventana y abre la GUI Bloqueo.
5. Cierra la presente ventana y abre la GUI Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo.
6. Cierra la presente ventana y abre la GUI Rendimiento_del_frenado.
7. Cierra la presente ventana y abre la GUI Distancia_y_tiempo.
8. Cierra la presente ventana y abre la GUI Potencia_disipada_en_el_frenado.
9. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.

9.1.4.5. MENU_LATERAL

La Ilustración 9-9 muestra los botones de acción de la GUI.

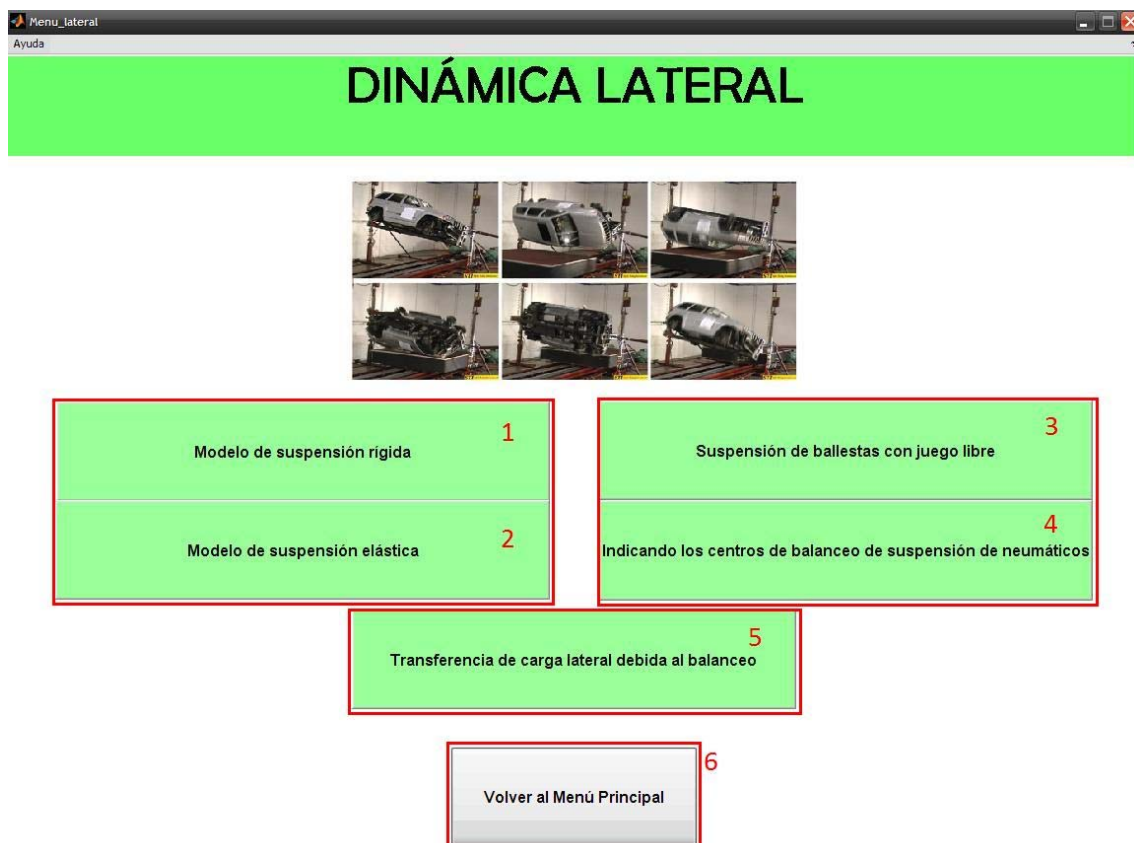
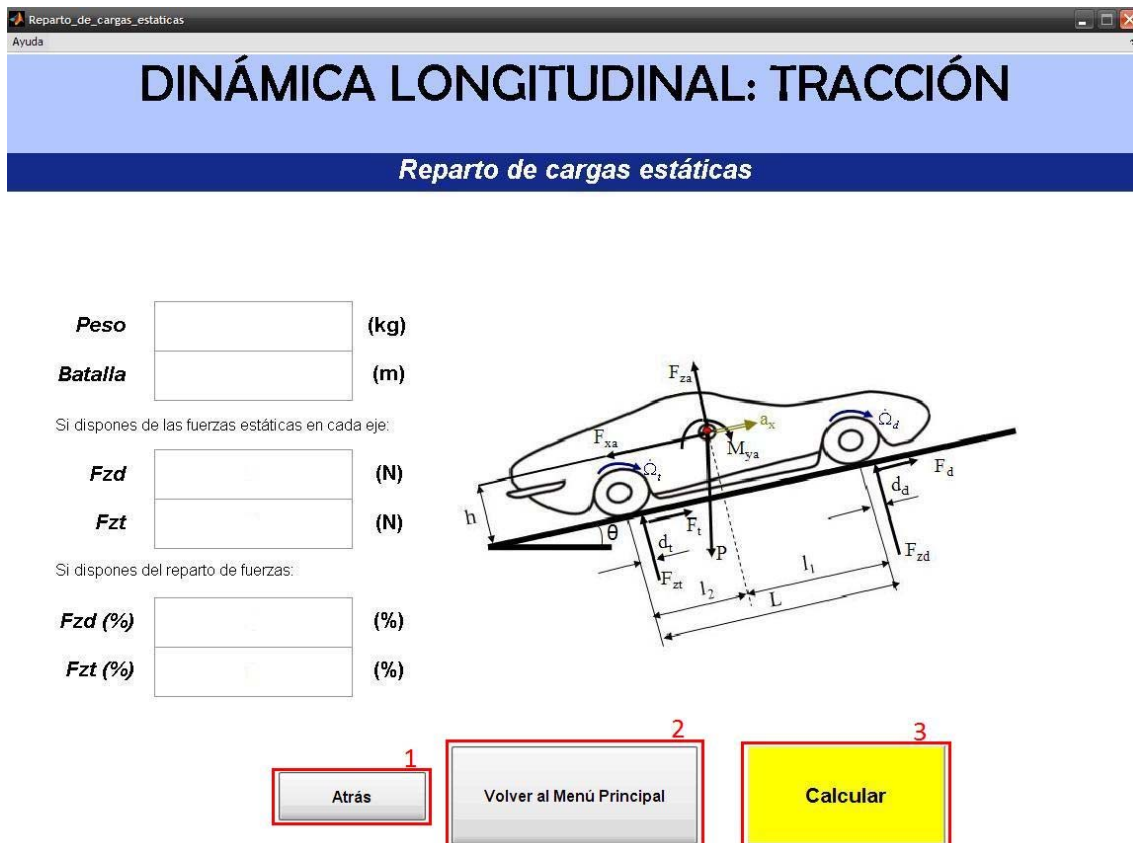


Ilustración 9-9. Captura de pantalla de la GUI *Menu_lateral*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Suspension_rigida*.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Suspension_elastica*.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Suspension_ballestas*.
4. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Centros_balanceo*.
5. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Menu_principal*.

9.1.4.6. REPARTO_DE_CARGAS_ESTATICAS

La Ilustración 9-10 muestra los botones de acción de la GUI.



Peso (kg)

Batalla (m)

Si dispones de las fuerzas estáticas en cada eje:

Fzd (N)

Fzt (N)

Si dispones del reparto de fuerzas:

Fzd (%) (%)

Fzt (%) (%)

1 **Atrás**

2 **Volver al Menú Principal**

3 **Calcular**

Ilustración 9-10. Captura de pantalla de la GUI *Reparto_de_cargas_estaticas*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_traccion.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Reparto_de_cargas_estaticas_resultados.

Peso Peso total del vehículo.

Batalla Distancia entre ejes del vehículo

Fzd	Reacción normal a la superficie de rodadura en el eje delantero.
Fzt	Reacción normal a la superficie de rodadura en el eje trasero.
Fzd(%)	Porcentaje de carga estática en el eje delantero.
Fzt(%)	Porcentaje de carga estática en el eje trasero

9.1.4.7. REPARTO_DE_CARGAS_ESTATICAS_RESULTADOS

La Ilustración 9-11 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-11. Captura de pantalla de la GUI *Reperto de cargas estaticas resultados*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Reparto_de_cargas_estaticas..
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.

I1 Distancia entre el CDG y el eje delantero.

I2 Distancia entre el CDG y el eje delantero.

9.1.4.8. ESFUERZO_TRACTOR_MAXIMO

La Ilustración 9-12 muestra los botones de acción de la GUI.



The screenshot shows a software window titled 'Esfuerzo tractor maximo' with a subtitle 'DINÁMICA LONGITUDINAL: TRACCIÓN'. Below the title bar, there is a header 'Esfuerzo tractor máximo'. The main area contains several input fields and labels:

- Peso** (kg)
- Coeficiente** ()
- Adherencia** ()
- Batalla** (m)
- I1** (m)
- I2** (m)
- h** (m)
- Relación transmisión** ()
- Par máximo** (Nm)
- Rendimiento motor** (%)
- Rendimiento transmisión** (%)
- Radio bajo carga** (m)
- Tipo de tracción:** Delantera (dropdown menu)

At the bottom, there are three buttons:

- Atrás** (labeled 1)
- Volver al Menú Principal** (labeled 2)
- Calcular** (labeled 3)

Ilustración 9-12. Captura de pantalla de la GUI *Esfuerzo_tractor_maximo*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_traccion.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Esfuerzo_tractor_maximo_resultados.

Peso	Peso total del vehículo.
Coeficiente	Coeficiente de resistencia a la rodadura.
Adherencia	Adherencia neumático-calzada.
Batalla	Distancia entre ejes del vehículo
I1	Distancia entre el CDG y el eje delantero.
I2	Distancia entre el CDG y el eje delantero.
h	Altura del CDG.
Rel. transmisión	Relación global de la transmisión en primera velocidad.
Par máximo	Par máximo a la salida del motor.
Rend. motor	Rendimiento del motor.
Rend. trans.	Rendimiento de la transmisión.
Radio bajo carga	Radio del neumático cuando el vehículo tiene un peso total igual al introducido.
Tipo de tracción	Tracción del vehículo, que puede ser delantera, trasera o a las cuatro ruedas.

9.1.4.9. ESFUERZO_TRACTOR_MAXIMO_RESULTADOS

La Ilustración 9-13 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-13. Captura de pantalla de la GUI *Esfuerzo_tractor_maximo_resultados*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Esfuerzo_tractor_maximo*.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Menu_principal*.

Ft Esfuerzo tractor máximo.

9.1.4.10. RAMPA_MAXIMA

La Ilustración 9-14 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-14. Captura de pantalla de la GUI *Rampa_maxima*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_traccion.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Rampa_maxima_resultados.

Ft Esfuerzo tractor máximo.

P Peso total del vehículo.

fr Coeficiente de resistencia a la rodadura.

9.1.4.11. RAMPA_MAXIMA_RESULTADOS

La Ilustración 9-15 muestra los botones de acción de la GUI.

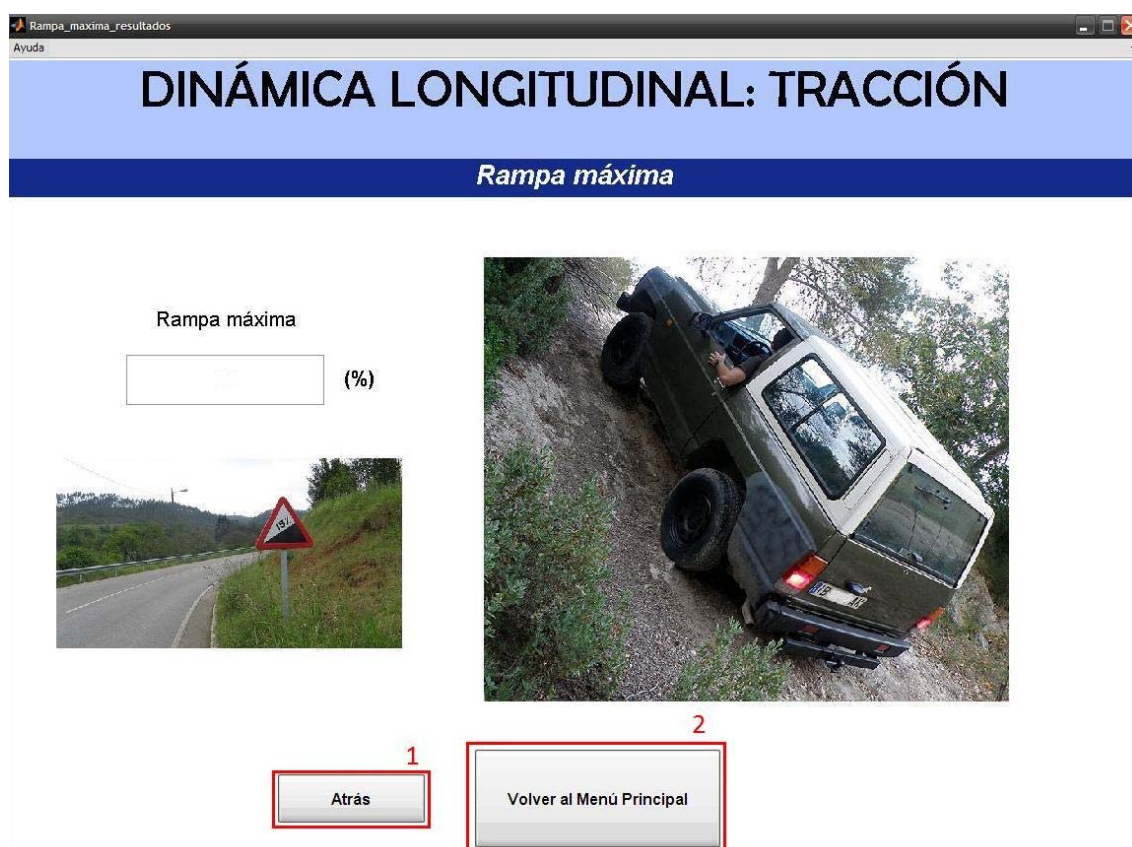


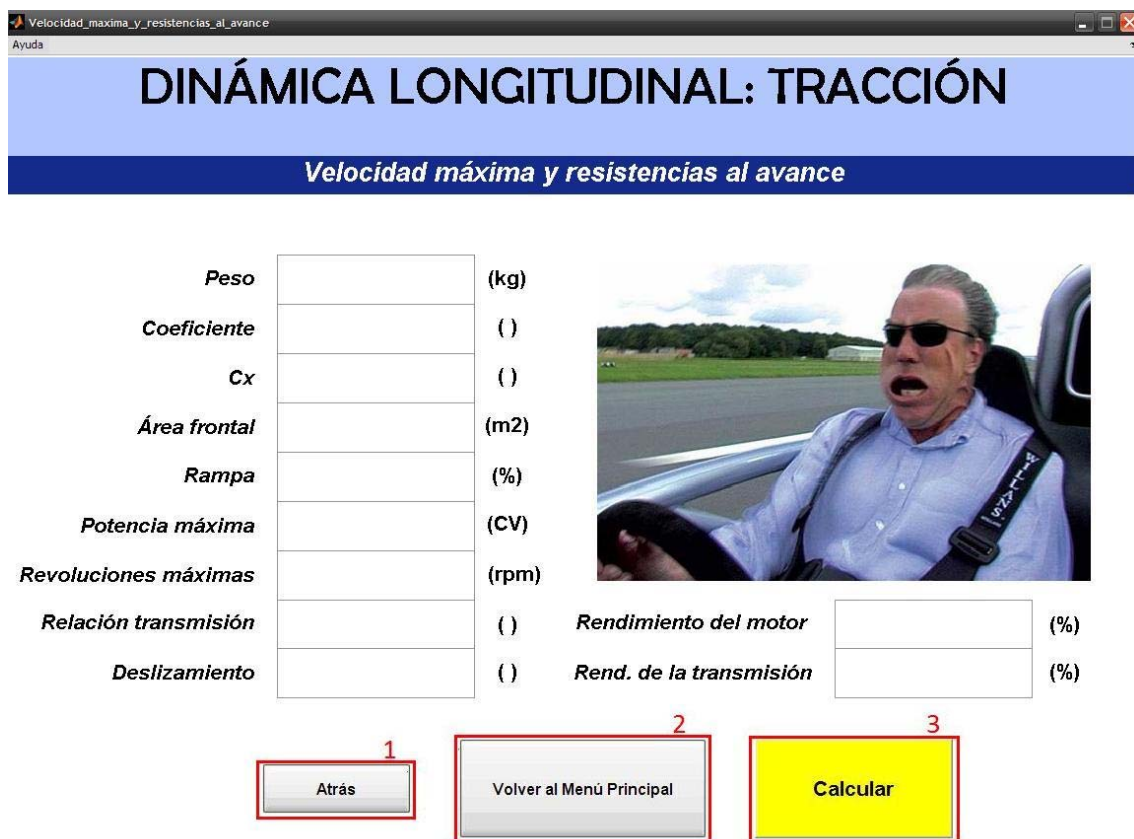
Ilustración 9-15. Captura de pantalla de la GUI *Rampa_maxima_resultados*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Rampa_maxima*.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Menu_principal*.

Rampa máxima Rampa máxima que puede subir el vehículo. Indica los metros verticales que puede subir por cada 100 metros horizontales recorridos.

9.1.4.12. VELOCIDAD_MAXIMA_Y_RESISTENCIAS_AL_AVANCE

La Ilustración 9-16 muestra los botones de acción de la GUI.



DINÁMICA LONGITUDINAL: TRACCIÓN

Velocidad máxima y resistencias al avance

Peso	<input type="text"/>	(kg)
Coefficiente	<input type="text"/>	()
Cx	<input type="text"/>	()
Área frontal	<input type="text"/>	(m2)
Rampa	<input type="text"/>	(%)
Potencia máxima	<input type="text"/>	(CV)
Revoluciones máximas	<input type="text"/>	(rpm)
Relación transmisión	<input type="text"/>	()
Deslizamiento	<input type="text"/>	()

Rendimiento del motor (%)

Rend. de la transmisión (%)

1

2

3

Ilustración 9-16. Captura de pantalla de la GUI

Velocidad_maxima_y_resistencias_al_avance, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_traccion.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.



3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Velocidad_maxima_y_resistencias_al_avance_resultados.

Peso	Peso total del vehículo.
Coeficiente	Coeficiente de resistencia a la rodadura.
Cx	Coeficiente aerodinámico de resistencia al avance.
Área frontal	Área frontal del vehículo.
Rampa	Rampa de la calzada.
Potencia máx.	Potencia máxima que puede desarrollar el vehículo.
Revol. Máx.	Revoluciones del motor a la potencia máxima.
Rel. transmisión	Relación global de la transmisión en directa.
Deslizamiento	Deslizamiento longitudinal del neumático.

9.1.4.13. VELOCIDAD_MAXIMA_Y_RESISTENCIAS_AL_AVANCE_RESULTADOS

La Ilustración 9-17 muestra los botones de acción de la GUI.

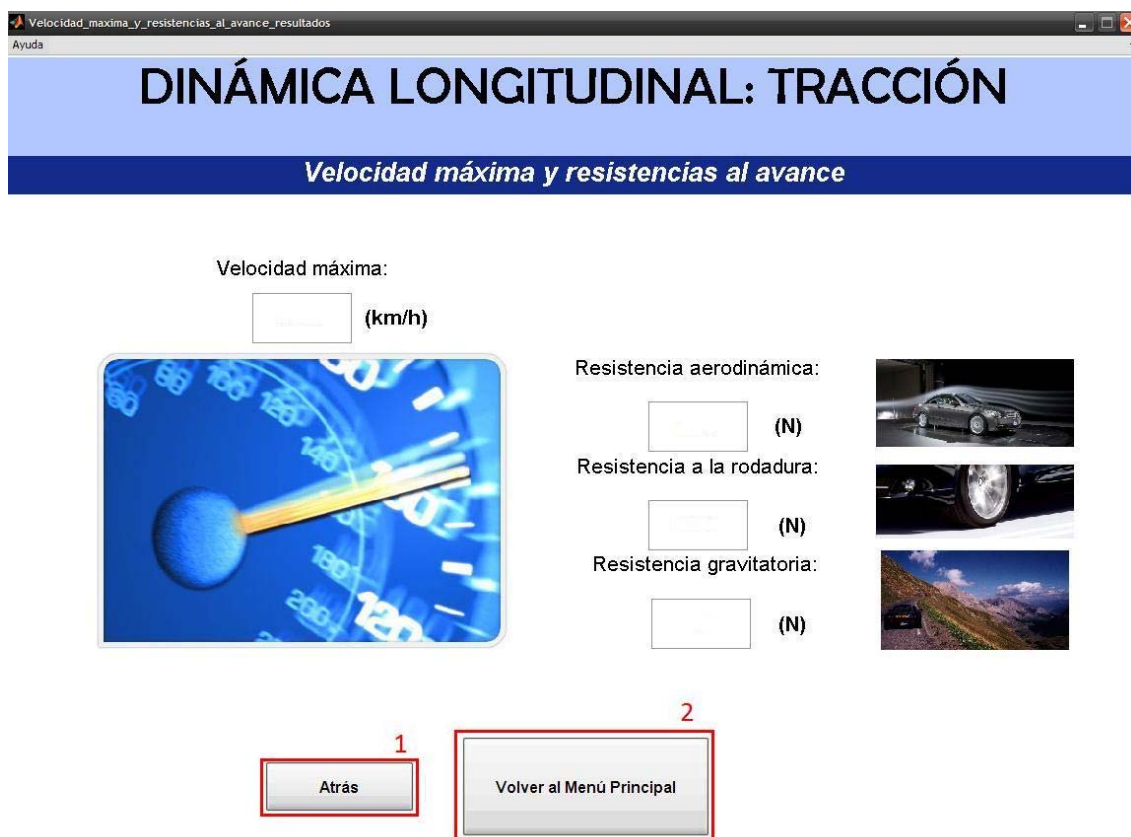


Ilustración 9-17. Captura de pantalla de la GUI

Velocidad_maxima_y_resistencias_al_avance_resultados, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Velocidad_maxima_y_resistencias_al_avance*.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Menu_principal*.

Res. aerodin. Resistencia aerodinámica sobre el vehículo cuando circula a máxima velocidad.

- Res. rodadura** Resistencia a la rodadura sobre el vehículo cuando circula a máxima velocidad.
- Res. gravitatoria** Resistencia gravitatoria sobre el vehículo cuando circula a máxima velocidad.
- Velocidad máx.** Velocidad máxima que puede alcanzar el vehículo.

9.1.4.14. ACELERACION

La Ilustración 9-18 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-18. Captura de pantalla de la GUI *Aceleracion*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_traccion.

2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Aceleracion_resultados.

Peso	Peso total del vehículo.
Ft	Esfuerzo tractor máximo.
Resistencia	Resistencia total al avance a baja velocidad.
Masas rotativas	Factor de masa equivalente de masas rotativas.

9.1.4.15. ACELERACION_RESULTADOS

La Ilustración 9-19 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-19. Captura de pantalla de la GUI *Aceleracion_resultados*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Aceleracion.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.

Aceleración Máxima aceleración disponible a baja velocidad.

9.1.4.16. ACUAPLANEO

La Ilustración 9-20 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-20. Captura de pantalla de la GUI *Acuplaneo*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_traccion.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.

3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Acuaplaneo_resultados.

Presión Presión de inflado de los neumáticos.

9.1.4.17. ACUAPLANEO_RESULTADOS

La Ilustración 9-21 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-21. Captura de pantalla de la GUI *Acuaplaneo_resultados*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Acuaplaneo.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.

Vel. transición Velocidad de transición del acuaplaneo.

Vel. hidroplaneo Velocidad del acuaplaneo.

9.1.4.18. PAR_RESISTENTE_DEL_MOTOR

La Ilustración 9-22 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-22. Captura de pantalla de la GUI *Par resistente del motor*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_frenado.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Par_resistente_del_motor_resultados.

Mc	Par a la salida del motor.
Relación	Relación global de la transmisión para el escalonamiento j .
Rendimiento	Rendimiento de la transmisión.

9.1.4.19. PAR_RESISTENTE_DEL_MOTOR_RESULTADOS

La Ilustración 9-23 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-23. Captura de pantalla de la GUI *Par_resistente_del_motor_resultados*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Par_resistente_del_motor.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.

Par resistente Par de frenado del motor con la marcha escogida.

9.1.4.20. REPARTO_DE_CARGAS_EN_LA_FRENADA

La Ilustración 9-24 muestra los botones de acción de la GUI.



The screenshot shows a window titled 'Reparto de cargas en la frenada' with a red header bar containing the text 'DINÁMICA LONGITUDINAL: FRENADO' and 'Reparto de cargas en la frenada'. Below the header, there is a table of input fields for vehicle parameters, each with a unit in parentheses:

Peso		(kg)
Coeficiente		()
Batalla		(m)
Adherencia		()
$I1$		(m)
$I2$		(m)
h		(m)

To the right of the input fields is an image of a Red Bull Formula 1 car on a track. Below the input fields and image, there are three buttons labeled 1, 2, and 3:

1. Atrás
2. Volver al Menú Principal
3. Calcular

Ilustración 9-24. Captura de pantalla de la GUI *Reparto de cargas en la frenada*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_frenado.



2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Reparto_de_cargas_en_la_frenada_resultados.

Peso	Peso total del vehículo.
Coeficiente	Coeficiente de resistencia a la rodadura.
Batalla	Distancia entre ejes del vehículo
Adherencia	Adherencia neumático-calzada.
I1	Distancia entre el CDG y el eje delantero.
I2	Distancia entre el CDG y el eje delantero.
h	Altura del CDG.

9.1.4.21. REPARTO_DE_CARGAS_EN_LA_FRENADA_RESULTADOS

La Ilustración 9-25 muestra los botones de acción de la GUI.

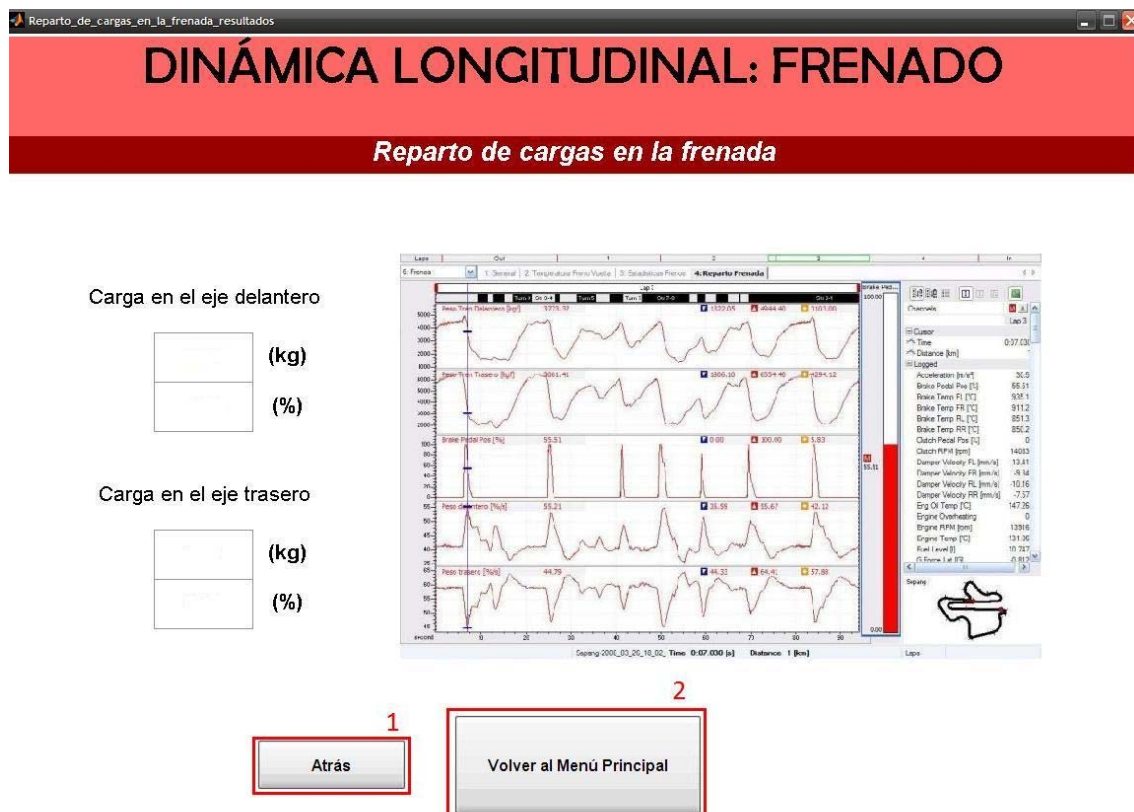


Ilustración 9-25. Captura de pantalla de la GUI

Reperto_de_cargas_en_la_frenada_resultados, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Reperto_de_cargas_en_la_frenada*.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Menu_principal*.

Carga delantera Reacción normal a la superficie de rodadura en el eje delantero.

Porcentaje de carga en el eje delantero.

Carga trasera

Reacción normal a la superficie de rodadura en el eje trasero.

Porcentaje de carga en el eje trasero.

9.1.4.22. REPARTO_OPTIMO_DE_LA_FRENADA

La Ilustración 9-26 muestra los botones de acción de la GUI.



The screenshot shows a window titled 'Reparto_optimo_de_la_frenada' with a red header bar containing the text 'DINÁMICA LONGITUDINAL: FRENADO' and 'Reparto óptimo de la frenada'. Below the header, there are input fields for the following parameters:

Coefficiente		()
Adherencia		()
$l1$		(m)
$l2$		(m)
h		(m)

To the right of the input fields is an image of a car's front wheel with orange brake discs. Below the input fields are three buttons:

- 1. Atrás
- 2. Volver al Menú Principal
- 3. Calcular

Ilustración 9-26. Captura de pantalla de la GUI *Reparto_optimo_de_la_frenada*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_frenado.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.

3. Cierra la presente ventana y abre la GUI `Reparto_optimo_de_la_frenada_resultados`.

Coeficiente	Coeficiente de resistencia a la rodadura.
Adherencia	Adherencia neumático-calzada.
I1	Distancia entre el CDG y el eje delantero.
I2	Distancia entre el CDG y el eje delantero.
h	Altura del CDG.

9.1.4.23. REPARTO_OPTIMO_DE_LA_FRENADA_RESULTADOS

La Ilustración 9-27 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-27. Captura de pantalla de la GUI `Reparto_optimo_de_la_frenada`, indicándose los botones accionables de la misma

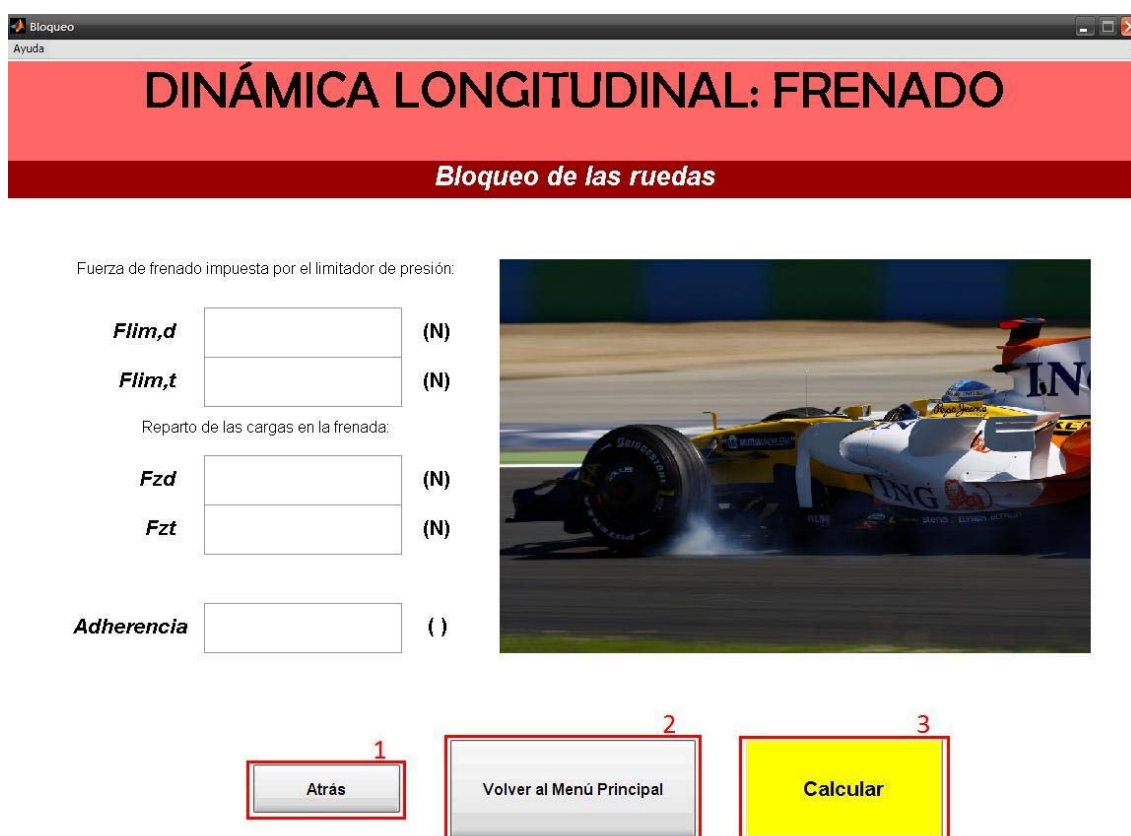
1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Reparto_optimo_de_la_frenada.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.

Ruedas delant. Porcentaje de carga en el eje delantero.

Ruedas traseras Porcentaje de carga en el eje trasero.

9.1.4.24. BLOQUEO

La Ilustración 9-26 muestra los botones de acción de la GUI.



Fuerza de frenado impuesta por el limitador de presión:

Flim,d (N)

Flim,t (N)

Reparto de las cargas en la frenada:

Fzd (N)

Fzt (N)

Adherencia ()

1 **Atrás**

2 **Volver al Menú Principal**

3 **Calcular**

Ilustración 9-28. Captura de pantalla de la GUI *Bloqueo*, indicándose los botones accionables de la misma



1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_frenado.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Bloqueo_resultados.

Flim,d	Fuerza de frenado en el eje delantero a la que actúa el limitador.
Flim,t	Fuerza de frenado en el eje trasero a la que actúa el limitador.
Fzd	Reacción normal a la superficie de rodadura en el eje delantero.
Fzt	Reacción normal a la superficie de rodadura en el eje trasero.
Coeficiente	Coeficiente de resistencia a la rodadura.

9.1.4.25. BLOQUEO_RESULTADOS

La Ilustración 9-29 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-29. Captura de pantalla de la GUI *Bloqueo_resultados*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Bloqueo.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.

9.1.4.26. MAXIMA_DECELERACION_ANTES_DE_BLOQUEO

La Ilustración 9-30 muestra los botones de acción de la GUI.



The screenshot shows a web application window titled 'Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo'. The main heading is 'DINÁMICA LONGITUDINAL: FRENADO' with the subtitle 'Máxima deceleración posible antes de bloqueo'. Below this, there are input fields for the following parameters:

- Coficiente** ()
- Adherencia** ()
- Batalla** (m)
- l1** (m)
- l2** (m)
- h** (m)
- Kfd** (%)
- Kft** (%)

At the bottom, there are three buttons labeled 1, 2, and 3:

- Atrás** (Button 1)
- Volver al Menú Principal** (Button 2)
- Calcular** (Button 3)

The background image shows a Formula 1 car (Lotus) drifting on a track, with smoke from the tires.

Ilustración 9-30. Captura de pantalla de la GUI *Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_frenado.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo_resultados.

Coficiente Coeficiente de resistencia a la rodadura.

Adherencia Adherencia neumático-calzada.

Batalla	Distancia entre ejes del vehículo.
l1	Distancia entre el CDG y el eje delantero.
l2	Distancia entre el CDG y el eje delantero.
h	Altura del CDG.
Kfd	Porcentaje de carga en el eje delantero.
Kft	Porcentaje de carga en el eje trasero.

9.1.4.27. MAXIMA_DECELERACION_ANTES_DE_BLOQUEO_RESULTADOS

La Ilustración 9-31 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-31. Captura de pantalla de la GUI

Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo_resultados, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI `Maxima_deceleracion_antes_de_bloqueo`.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI `Menu_principal`.

Ruedas delanteras. Aceleración en g's en el eje delantero.

Ruedas traseras Aceleración en g's en el eje trasero.

9.1.4.28. RENDIMIENTO_DEL_FRENADO

La Ilustración 9-32 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-32. Captura de pantalla de la GUI `Rendimiento_del_frenado`, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_frenado.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Rendimiento_del_frenado_resultados.

Adherencia Adherencia neumático-calzada.

a máxima Deceleración máxima permitida.

9.1.4.29. RENDIMIENTO_DEL_FRENADO_RESULTADOS

La Ilustración 9-33 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-33. Captura de pantalla de la GUI *Rendimiento_del_frenado_resultados*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Rendimiento_del_frenado.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.

Rendimiento Rendimiento del frenado.

9.1.4.30. DISTANCIA_Y_TIEMPO

La Ilustración 9-34 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-34. Captura de pantalla de la GUI *Distancia_y_tiempo*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_frenado.



2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Distancia_y_tiempo_resultados.

Peso	Peso total del vehículo.
Coeficiente	Coeficiente de resistencia a la rodadura.
Adherencia	Adherencia neumático-calzada.
Cx	Coeficiente aerodinámico de resistencia al avance.
Área frontal	Área frontal del vehículo.
Velocidad	Velocidad del vehículo.
Rampa	Rampa de la calzada.
Rendimiento	Rendimiento del frenado
Masas rotativas	Factor de masa equivalente de masas rotativas.

9.1.4.31. DISTANCIA_Y_TIEMPO_RESULTADOS

La Ilustración 9-35 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-35. Captura de pantalla de la GUI *Distancia_y_tiempo_resultados*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Distancia_y_tiempo*.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Menu_principal*.

Distancia	Distancia recorrida desde que se visualiza la emergencia hasta que se detiene el vehículo.
Tiempo	Tiempo transcurrido desde que se visualiza la emergencia hasta que se detiene el vehículo.

9.1.4.32. POTENCIA_DISPADA_EN_EL_FRENADO

La Ilustración 9-36 muestra los botones de acción de la GUI.



The screenshot shows a software window titled 'Potencia_disipada_en_el_frenado' with a red header bar containing the text 'DINÁMICA LONGITUDINAL: FRENADO' and 'Potencia disipada en el frenado'. Below the header, there are four input fields with labels: 'Peso' (kg), 'Velocidad' (km/h), 'Tiempo hasta parada' (s), and 'Masas rotativas' (). To the right of these fields is a photograph of a car's brake system. Below the input fields, there is a label 'En una frenada en descenso prolongado:' followed by a 'Rampa' input field with a '%' unit. At the bottom, there are three buttons: 'Atrás' (labeled 1), 'Volver al Menú Principal' (labeled 2), and 'Calcular' (labeled 3).

Ilustración 9-36. Captura de pantalla de la GUI *Potencia_disipada_en_el_frenado*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_frenado.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Potencia_disipada_en_el_frenado_resultados.

Peso Peso total del vehículo.

Velocidad Velocidad del vehículo.

Tiempo	Tiempo transcurrido desde que se visualiza la emergencia hasta que se detiene el vehículo.
Masas rotativas	Factor de masa equivalente de masas rotativas.
Rampa	Pendiente en una frenada de descenso prolongado.

9.1.4.33. POTENCIA_DISPADA_EN_EL_FRENADO_RESULTADOS

La Ilustración 9-37 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-37. Captura de pantalla de la GUI

Potencia_disipada_en_el_frenado_resultados, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Potencia_disipada_en_el_frenado.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.

Frenado brusco Potencia disipada.

Descenso prol. Potencia disipada.

9.1.4.34. SUSPENSION_RIGIDA

La Ilustración 9-38 muestra los botones de acción de la GUI.

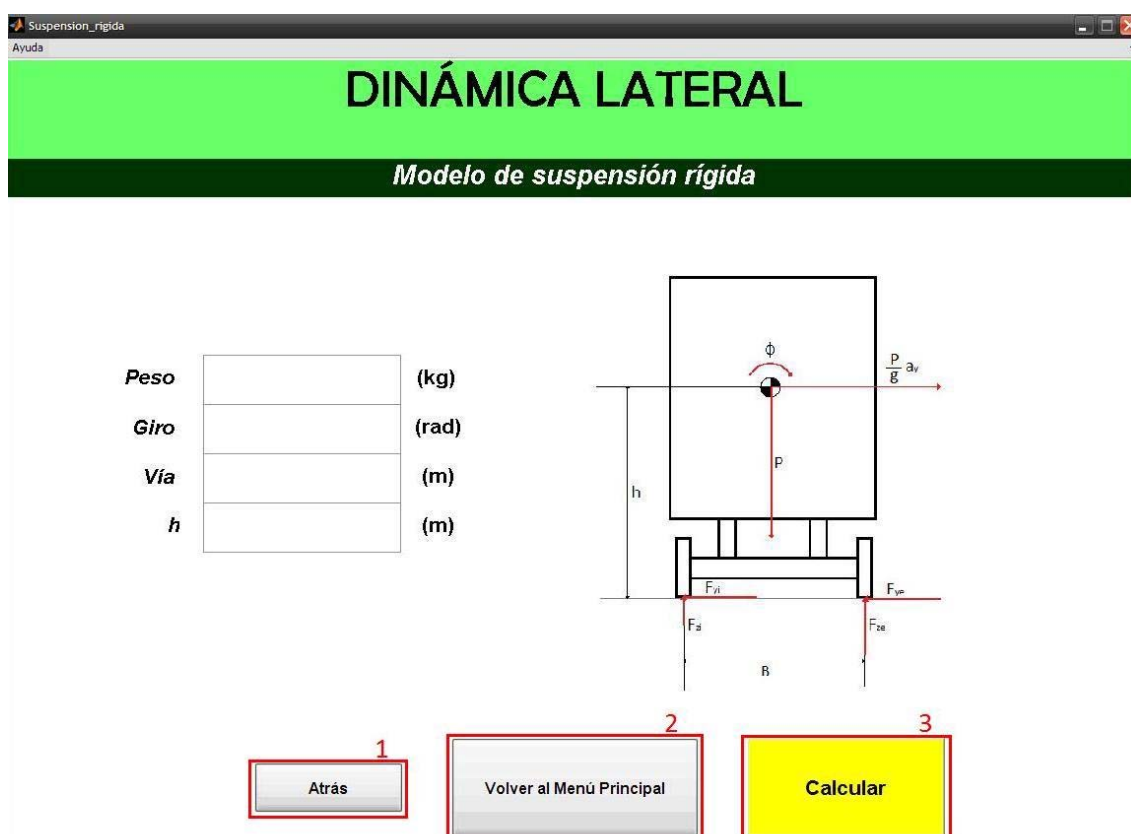


Ilustración 9-38. Captura de pantalla de la GUI *Suspension_rigida*, indicándose los botones accionables de la misma



1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_lateral.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Suspension_rigida_resultados.

Peso	Peso total del vehículo.
Giro	Ángulo de balanceo.
Vía	Vía del vehículo.
h	Altura del CDG.

9.1.4.35. SUSPENSION_RIGIDA_RESULTADOS

La Ilustración 9-39 muestra los botones de acción de la GUI.

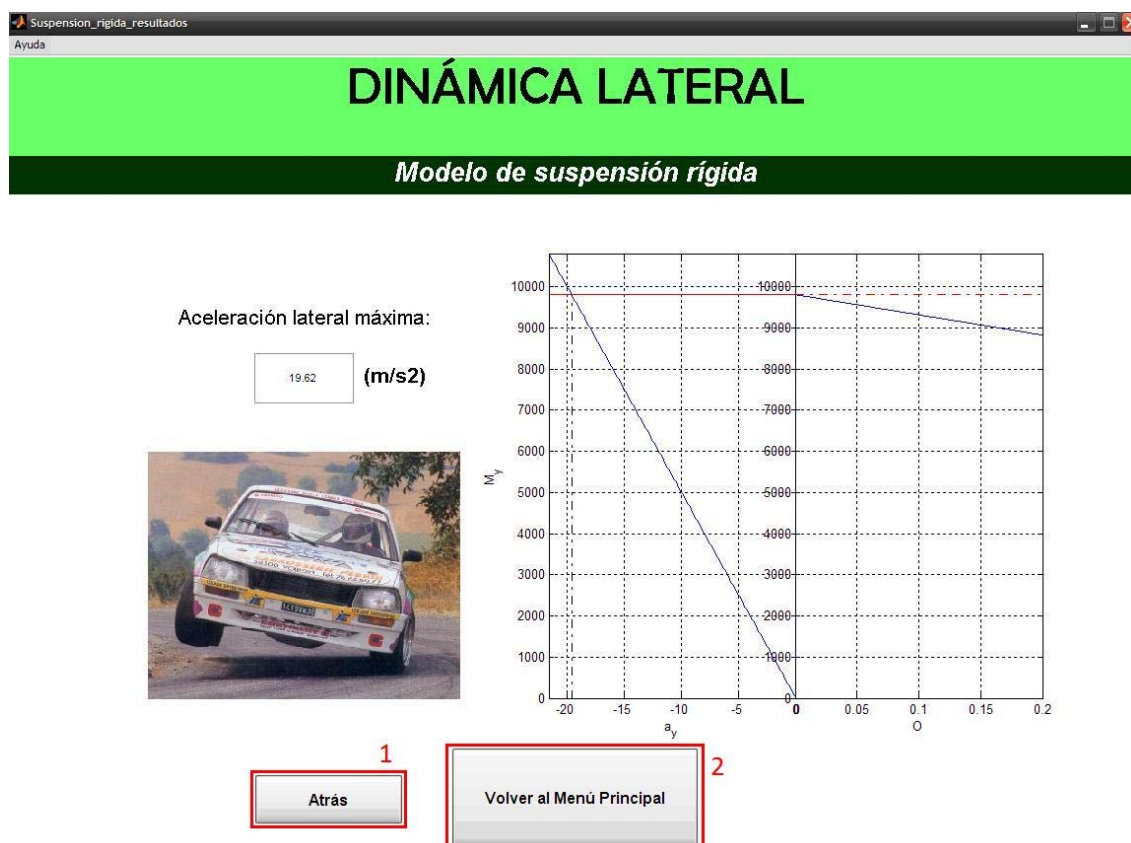


Ilustración 9-39. Captura de pantalla de la GUI *Suspension_rigida_resultados*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Suspension_rigida*.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Menu_principal*.

Acel. lat. máx.	Aceleración lateral máxima, a partir de la cual se produce inestabilidad lateral del vehículo y vuelca.
Gráfica	Muestra la relación entre el momento de vuelco y la aceleración lateral.

9.1.4.36. SUSPENSION_ELASTICA

La Ilustración 9-40 muestra los botones de acción de la GUI.

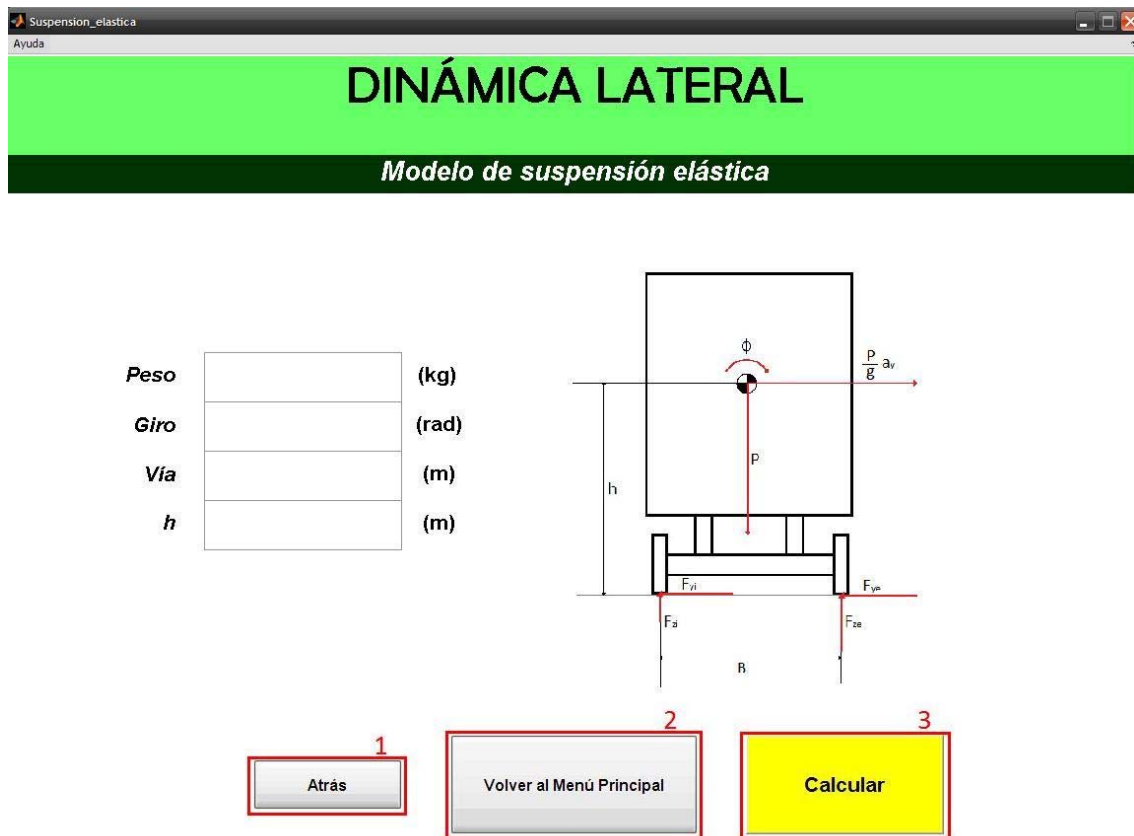


Ilustración 9-40. Captura de pantalla de la GUI *Suspension_elastica*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_lateral.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Suspension_elastica_resultados.

Peso

Peso total del vehículo.

Giro	Ángulo de giro de la masa suspendida como consecuencia de la elasticidad de la suspensión y de los neumáticos.
Vía	Vía del vehículo.
h	Altura del CDG.

9.1.4.37. SUSPENSION_ELASTICA_RESULTADOS

La Ilustración 9-41 muestra los botones de acción de la GUI.

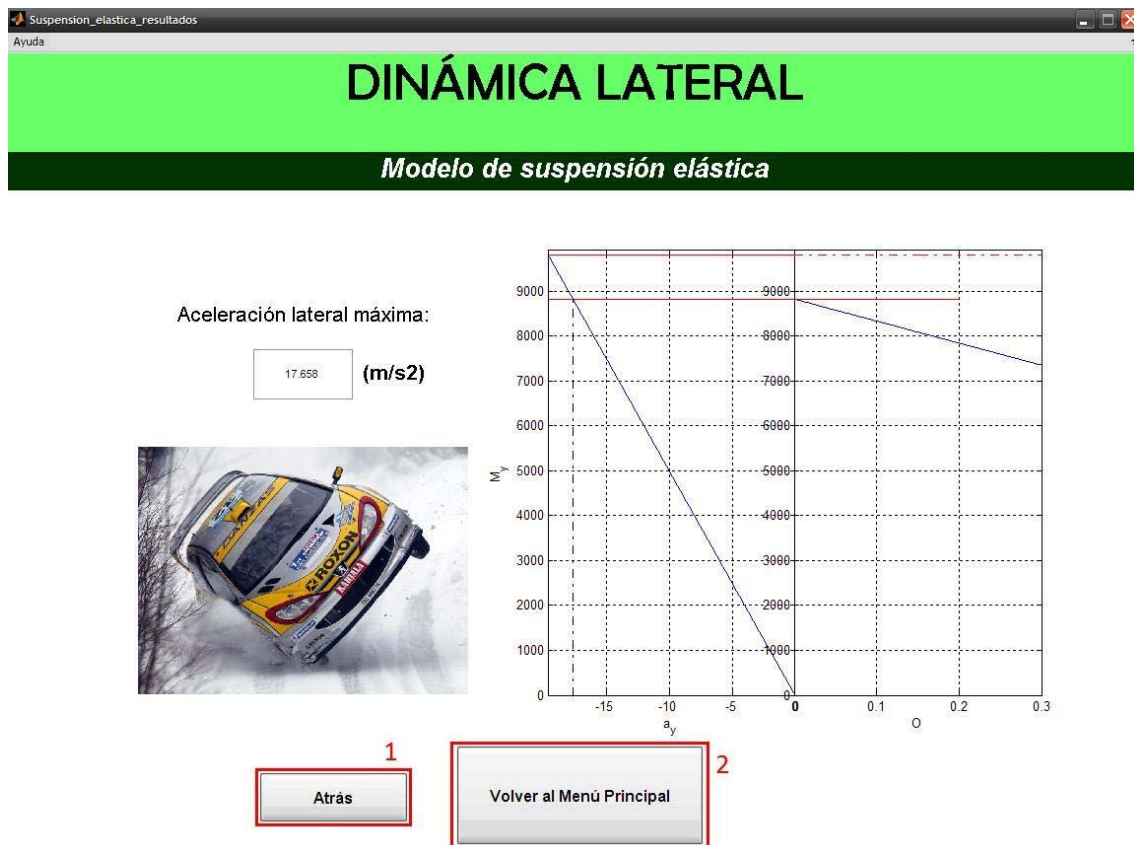


Ilustración 9-41. Captura de pantalla de la GUI *Suspension_elastica_resultados*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Suspension_elastica*.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Menu_principal*.

Acel. lat. máx.	Aceleración lateral máxima, a partir de la cual se produce inestabilidad lateral del vehículo y vuelca.
Gráfica	Muestra la relación entre el momento de vuelco y la aceleración lateral.

9.1.4.38. SUSPENSION_BALLESTAS

La Ilustración 9-42 muestra los botones de acción de la GUI.

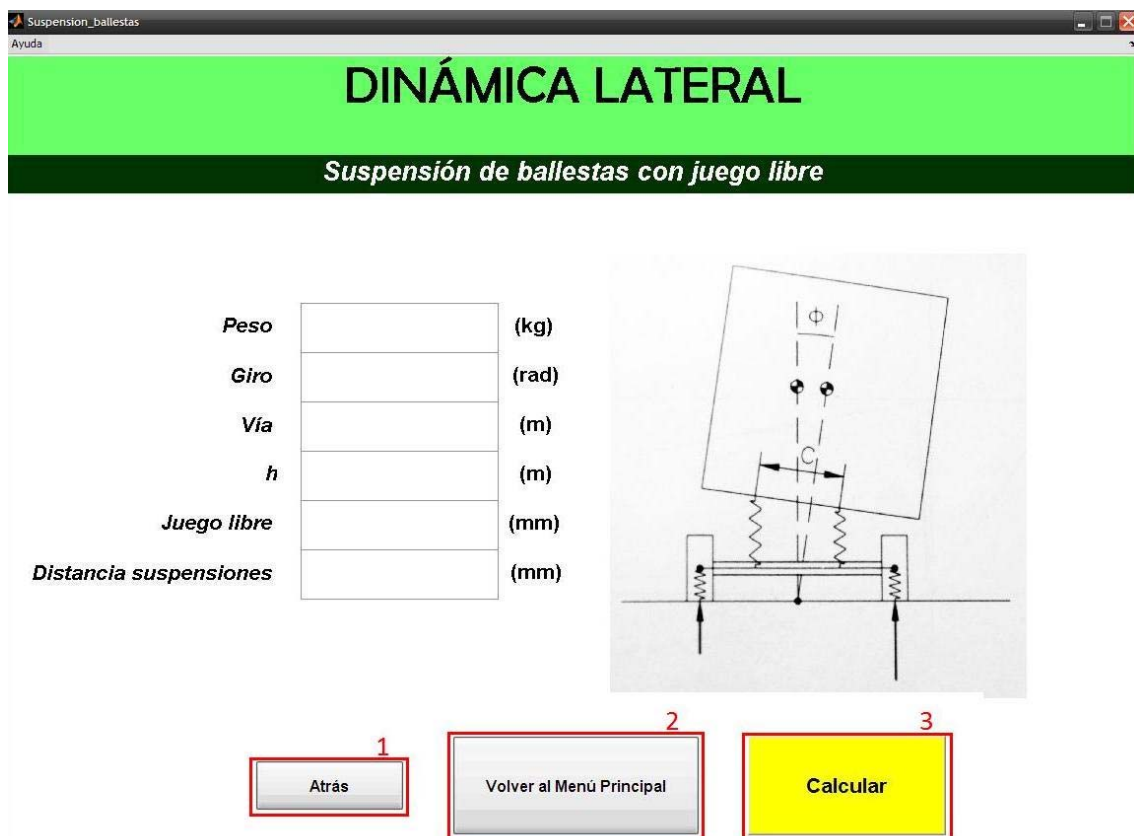


Ilustración 9-42. Captura de pantalla de la GUI *Suspension_ballestas*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_lateral.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.



3. Cierra la presente ventana y abre la GUI
Suspension_ballestas_resultados.

Peso	Peso total del vehículo.
Giro	Ángulo de giro de la masa suspendida como consecuencia de la elasticidad de la suspensión y de los neumáticos.
Vía	Vía del vehículo.
h	Altura del CDG.
Juego libre	Juego entre la ballesta y su apoyo.
Dist. Suspen.	Distancia entre los apoyos de la ballesta de un mismo eje en sentido transversal.

9.1.4.39. SUSPENSION_BALLESTAS_RESULTADOS

La Ilustración 9-43 muestra los botones de acción de la GUI.



Ilustración 9-43. Captura de pantalla de la GUI *Suspension_ballestas_resultados*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Suspension_ballestas*.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Menu_principal*.

Acel. lat. máx. Aceleración lateral máxima, a partir de la cual se produce inestabilidad lateral del vehículo y vuelca.

Gráfica Muestra la relación entre el momento de vuelco y la aceleración lateral.

9.1.4.40. CENTROS_BALANCEO

La Ilustración 9-44 muestra los botones de acción de la GUI.

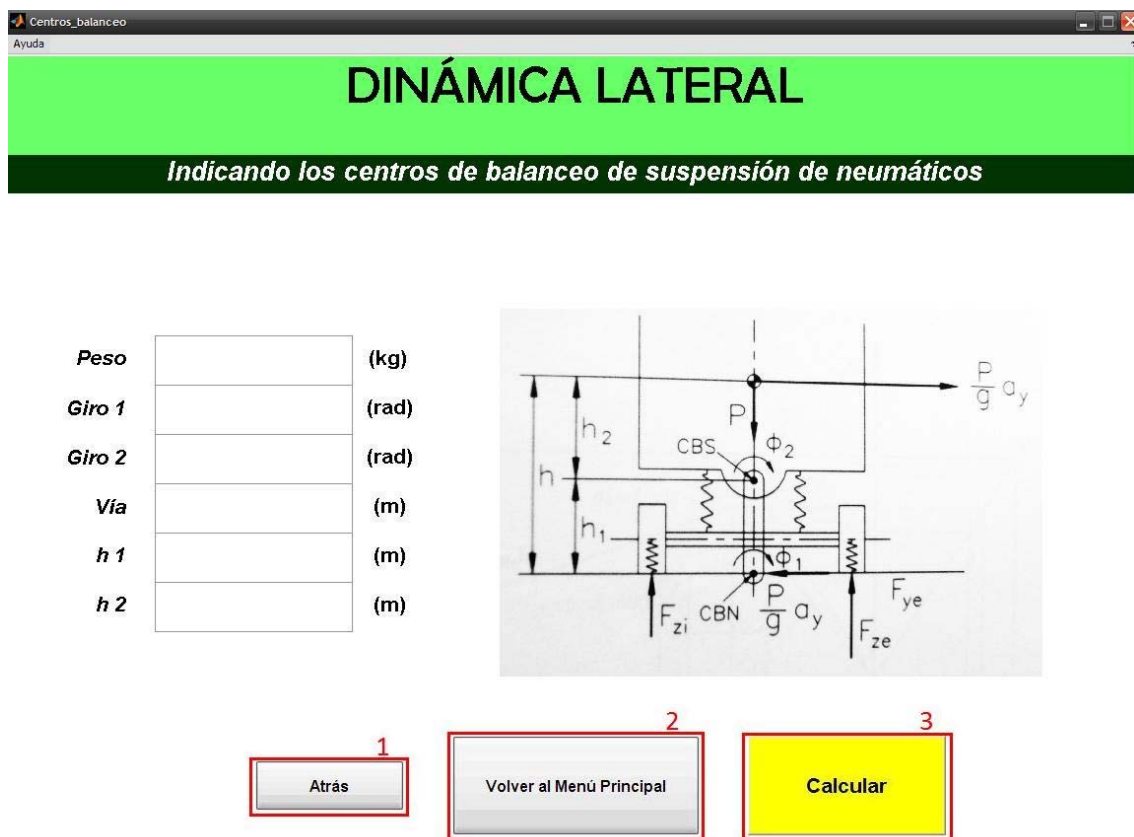


Ilustración 9-44. Captura de pantalla de la GUI *Centros_balanceo*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_lateral.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Centros_balanceo_resultados.

Peso

Peso total del vehículo.

Giro 1	Ángulo de balanceo respecto del centro de balanceo de los neumáticos.
Giro 2	Ángulo de balanceo respecto del centro de balanceo de la suspensión.
Vía	Vía del vehículo.
h1	Altura del centro de balanceo de la suspensión
h2	Diferencia de aturas entre el centro de balanceo de la suspensión y el CDG.

9.1.4.41. CENTROS_BALANCEO_RESULTADOS

La Ilustración 9-45 muestra los botones de acción de la GUI.

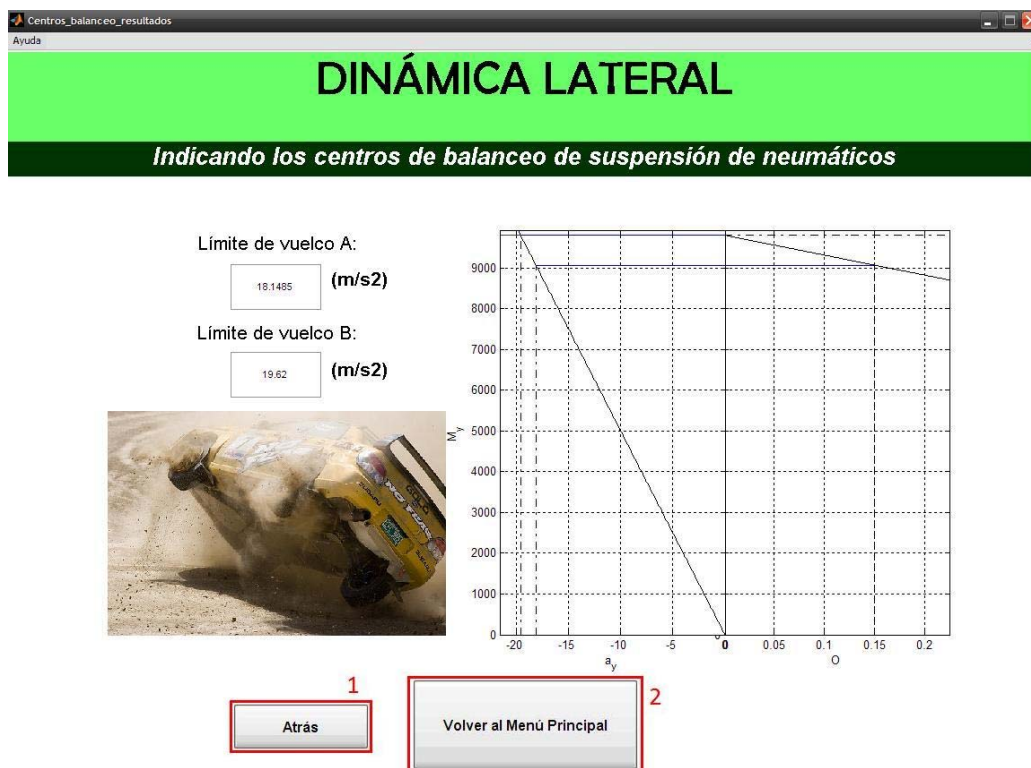


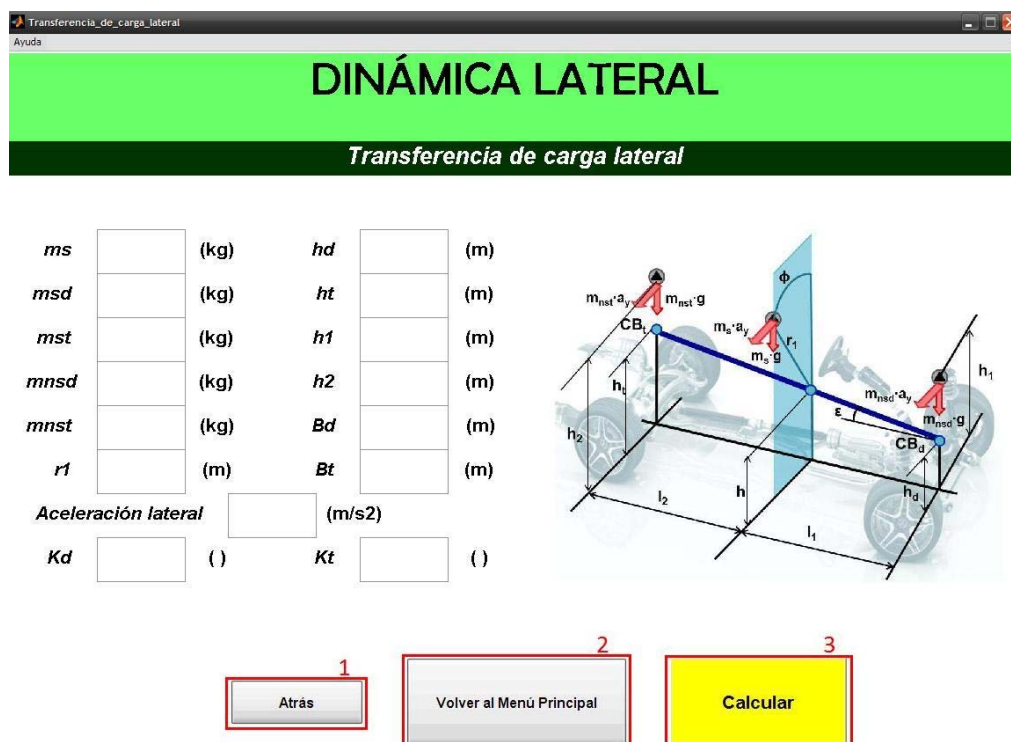
Ilustración 9-45. Captura de pantalla de la GUI *Centros_balanceo_resultados*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Centros_balaneo.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.

Lím. Vuelco A	Aceleración lateral máxima, mayor valor posible (en valor absoluto).
Lím. Vuelco B	Aceleración lateral máxima, menor valor posible (en valor absoluto).
Gráfica	Muestra la relación entre el momento de vuelco y la aceleración lateral.

9.1.4.42. TRANSFERENCIA_DE_CARGA_LATERAL

La Ilustración 9-46 muestra los botones de acción de la GUI.



DINÁMICA LATERAL

Transferencia de carga lateral

m_s (kg) h_d (m)
 m_{sd} (kg) h_t (m)
 m_{st} (kg) h_1 (m)
 m_{nsd} (kg) h_2 (m)
 m_{nst} (kg) B_d (m)
 r_1 (m) B_t (m)
Aceleración lateral (m/s²)
 K_d () K_t ()

1 **Atrás** 2 **Volver al Menú Principal** 3 **Calcular**

Ilustración 9-46. Captura de pantalla de la GUI *Transferencia de carga lateral*, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_lateral.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI Menu_principal.
3. Cierra la presente ventana y abre la GUI Transferencia_de_carga_lateral_resultados.

ms	Masa suspendida.
msd	Masa suspendida delantera.
mst	Masa suspendida trasera.
mnsd	Masa no suspendida delantera.
mnst	Masa no suspendida trasera.
R1	Distancia entre el eje de balanceo y el CDG.
hd	Altura del centro de balanceo delantero.
ht	Altura del centro de balanceo trasero.
h1	Altura de la masa no suspendida delantera.
h2	Altura de la masa no suspendida trasera.
Bd	Ancho de vía delantero.
Bt	Ancho de vía trasero.
Acel. lateral	Aceleración lateral.
Kd	Rigidez de balanceo en el eje delantero.
Kt	Rigidez de balanceo en el eje trasero.

9.1.4.43. TRANSFERENCIA_DE_CARGA_LATERAL_RESULTADOS

La Ilustración 9-47 muestra los botones de acción de la GUI.

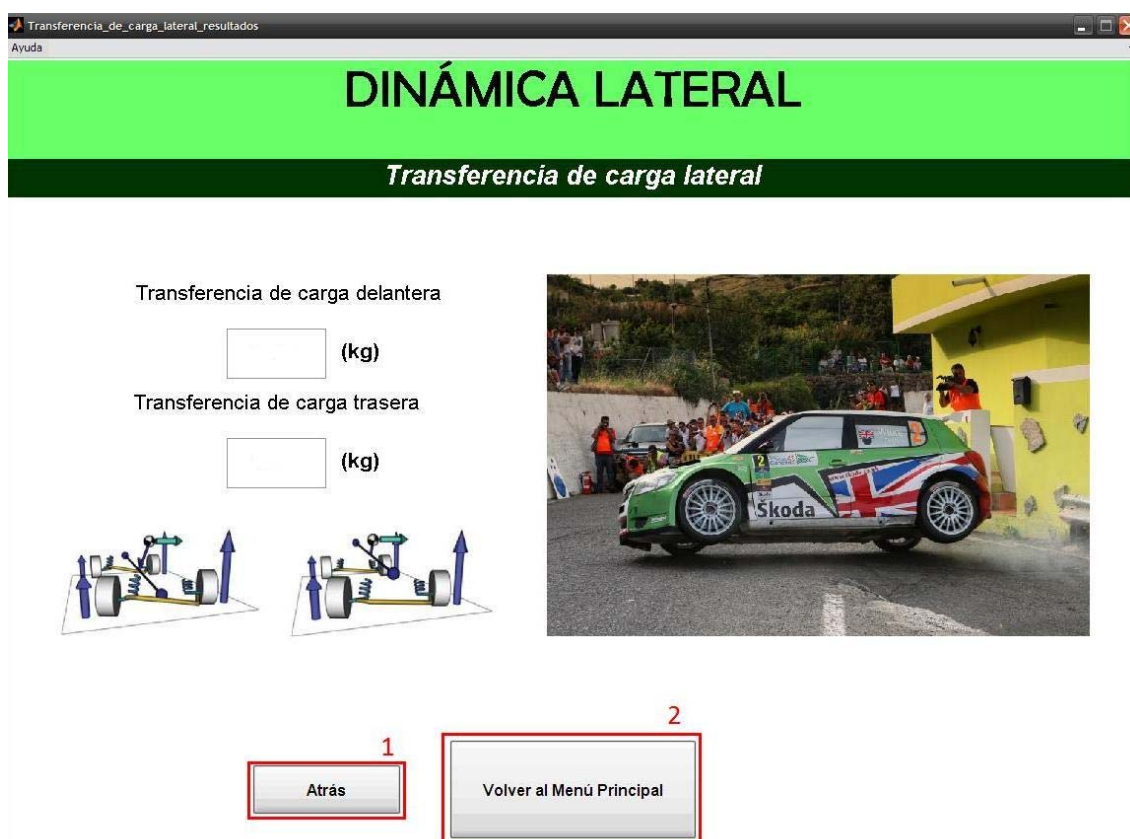


Ilustración 9-47. Captura de pantalla de la GUI

Transferencia_de_carga_lateral_resultados, indicándose los botones accionables de la misma

1. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Suspension_elastica*.
2. Cierra la presente ventana y abre la GUI *Menu_principal*.

Trans. Del. Transferencia de carga de la rueda interior a la rueda exterior, en el eje delantero.

Trans. Tra. Transferencia de carga de la rueda interior a la rueda exterior, en el eje trasero.

9.2. ANEXO 2. MANUAL DE REFERENCIA

Este apartado incluye ciertas valoraciones incluidas en el manual de referencia del programa (ver [11] de la Bibliografía). Dicho manual es un documento muy completo sobre la aplicación realizada en este PFC, confeccionado como un manual del programador. Al igual que el manual de usuario explicado en el apartado 9.1, este manual se puede considerar parte del PFC desarrollado.

Por diversos motivos ya explicados, no se adjunta el manual completo en el presente documento. Se considera, sin embargo, altamente oportuno consultar el mismo para comprender más sobre el programa o, en particular, si se desea modificar el mismo.

En dicho manual se incluyen ciertas valoraciones que pueden resultar de ayuda si se desea modificar el programa “Análisis dinámico de un vehículo automóvil”. Para comprender en su totalidad el programa, sin embargo, se debe tener en consideración el presente documento. En esta sección sólo se exponen particularidades referentes a la programación en GUIDE.

- Todas las GUIs han sido diseñadas con el mismo tamaño: [520, -45, 1152, 845]. Al crear una nueva GUI, establecer estos mismos parámetros.
- Los *tags* de los objetos se guardan en el *handles* de cada GUI, por lo tanto pueden repetirse en diferentes GUIs, pero no en una misma. Así, objetos comunes en todas las GUIs, como los botones de “Menú principal” o “Atrás”, pueden compartir el mismo *tag* aunque su *callback* sea distinto.

- Para recuperar el valor de una variable establecida en una GUI y usarlo en una segunda, en ambas GUIs se deben declarar las variables como globales, pues la memoria del *handles* se borra al cerrar cada GUI.
- Para conseguir máxima compatibilidad, establecer en las opciones de preferencias de cada GUI, compatibilidad con MatLab 5 (ver Ilustración 9-48).

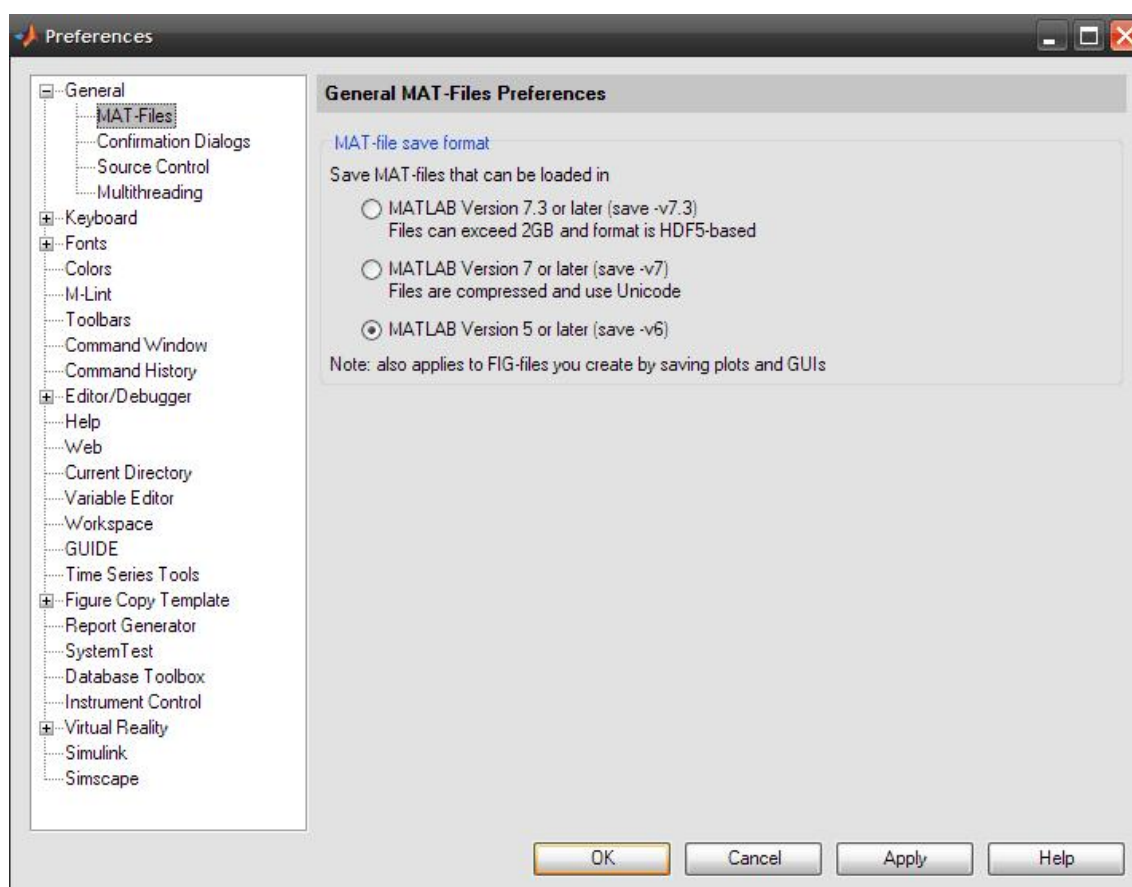


Ilustración 9-48. Captura de pantalla del menú de preferencias de GUIDE. Detalle de las preferencias del formato de los archivos

- Todas las imágenes, *figures* y *m-files*, deben estar en la misma carpeta (no se pueden incluir subcarpetas), que a su vez debe ser la carpeta de trabajo especificada a través del “*Current directory browser*”.
- MatLab puede confundir fácilmente los nombres de los *tags* de los de las variables, ya que diferencia entre mayúsculas y minúsculas. Se recomienda, para seguir con el mismo criterio, nombrar a todos los *tags* sólo en minúsculas y las variables correspondientes comenzando en mayúscula.
- Para seguir con el mismo criterio, siempre que se vaya a programar una prestación nueva, crear una GUI donde se introducen los datos de entrada y una segunda GUI donde se muestren los resultados. En esta segunda GUI es donde se realizan las operaciones necesarias.
- Todas las GUIs creadas tienen fondo blanco. El fondo de una GUI se modifica haciendo doble clic sobre el mismo al editar la figura, abriéndose el *editor inspector* del objeto que es el fondo.
- Tratar de mantener una coherencia estética. Por ejemplo, se han diferenciado los tres análisis de tracción, frenado y dinámica lateral, por colores. Si se incluye un análisis de dinámica vertical, establecer otro color. De igual modo, tratar de mantener el criterio de cuadros de títulos establecido.